CONFERENCE BOOK

EGE 14. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

İZMİR
23 - 29 ARALIK 2025

EGE
14. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



EGE
14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 23 - 29, 2025
IZMIR

Cilt 1

ISBN : 978-625-5694-65-2
Academy Global Publishing House

EGE 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 23 - 29, 2025
IZMIR

Edited By
PROF. DR. HÜLYA ÇİÇEK

Issued: 30.12.2025
ISBN: 978-625-5694-65-2

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 427 papers have been presented by Turkish participants and 444 papers by foreign participants.
Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House
Without permission can't be duplicate or copied.
Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.
Academy Global–2025©

CONFERENCE ID

EGE 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE

DECEMBER 23 - 29, 2025

IZMIR

ORGANIIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey – Iran – Mongolia – Georgia – India- Tanzania- Hungary – Malaysia- - Tunisia- Tajikistan- Germany -Japan – Serbia- Egypt – Algeria- Lebanon- Saudi Arabia – Cambodia – Spain- Kyrgyzstan – Albania – Pakistan- Russia- Kenya- North Macedonia- Kazakhstan – Indonesia – Bangladesh – Greece – Moldova – Nigeria – China - Oman – Philippines – Azerbaijan – Dubai - , Ethiopia – Qatar – Vietnam-

-

PRESENTATION

Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -Mindanao State University

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy - Mindanao State University

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran

EGE 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 23 - 29, 2025
IZMIR

NO : **AC- 14A - 2025. 438u– 3051**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 29/12/2025

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **Ege 14. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi** 23-29 Aralık 2025 tarihlerinde Ege'de 40 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 871 bildirinin 427'si Türkiye'den, 444'ü ise farklı 39 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. Hülya Çiçek

T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi

Sayı : E-98102723-903.07-475454
Konu : Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:
Gereği:
Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:
Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 - GAZİANTEP
Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17
e-Posta : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi
Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel
Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ARTWorld 7TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
December 23 - 29, 2025
IZMIR

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderator olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmamasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via https://zoom.us/join site, enter ID instead of "Meeting ID
- or Personal Link Name" and solidify the session.
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on **at least %70** of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.
- Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number,

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Ar. Gör. Ayşenur ALKAN**	1	A HOLISTIC PERSPECTIVE ON THE DIVORCE PROCESS THROUGH PARENTAL, CHILD, AND COUPLE DYNAMICS	Uzm. Psk. Elif AYTEN KAYAR Dr. Öğr. Üyesi Ozan KAYAR
		2	DEVELOPMENT AND TREATMENT OF OVERCONTROL: A REVIEW	Ar. Gör. Ayşenur ALKAN
		3	PSİKOLOJİK İYİ OLUŞ ÜZERİNDE SEKÜLER VE DESEKÜLER TUTUMLARIN ETKİSİ	Doktora Öğrencisi, Enes KARTAL
		4	AKTARILAN AİLE İÇİ TRAVMALAR VE ÇOCUKLUK DÖNEMİ PSİKOLOJİK YARALANMALARI: LİTERATÜR TABANLI BİR İNCELEME	Yüksek Lisans Öğrencisi Selin ÜNAL Doç. Dr. Tuğba Seda ÇOLAK TURAN
		5	PSYCHOMETRIC EVALUATION OF THE TURKISH VERSION OF THE TIME STYLES SCALE	Helin GÜL Senanur AYIK Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz Orhun Gürlük Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Karasu
		6	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN DİZİ KARAKTERLERİ İLE KURDUKLARI PARASOSYAL İLİŞKİDEKİ İKİ ETKEN: YAŞAM DOYUMU VE BENLİK SAYGISI	Dr. Öğretim Üyesi Gülgün UZUN Ayşe KÖSE Tuğçe DAĞISTAN
		7	EKOLOJİK KRİZ VE PSİKOSOSYAL UYUM: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA ORMAN YANGINLARI	Doç. Dr. Betül Dilara ŞEKER Arş. Gör. Tubanur İNANÇ BOZKURT
		8	EBEVEYN DUYGUSAL ERİŞİLEBİLİRLİĞİ VE PSİKOLOJİK SAĞLAMLIK ARASINDAKİ İLİŞKİDE KİŞİLİK ÖZELLİKLERİNİN ARACI ROLÜ	Yüksek Lisans Öğrencisi Özlem URUŞ Dr. Öğr. Üyesi Gülşah ERTEKİN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğr. Üyesi Gamze BİLİR-SEYHAN**	1	TEK EBEVEYNLİ ÇOCUKLARIN AİLE İLİŞKİLERİ VE EĞİTİM HAYATIYLA İLGİLİ ANNE GÖRÜŞLERİ	Öznur BUĞDAY İrem GÜRGAH OĞUL
		2	ÇOCUKLARIN PROBLEMLİ EKRAN KULLANIMINA İLİŞKİN EBEVEYN GÖRÜŞLERİ	Ayça Sena ABACI Dr. Öğr. Üyesi İrem GÜRGAH OĞUL
		3	TOPLUM TEMELLİ UYGULAMALARDA ÖĞRETMEN ADAYLARININ ÖĞRENME DENEYİMLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Gamze BİLİR-SEYHAN
		4	OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİ EDEBİYATI DERSİNDEN KAZANDIKLARI FARKINDALIKLAR	Dr. Öğr. Üyesi Gamze BİLİR-SEYHAN
		5	Okul Öncesi Öğretmen Adaylarının, Sosyobilimsel Konulara Yönelik Tutumları İle Eleştirel Düşünme Eğilimleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi	Sabahat ÇEKİCİ Dr. Öğr. Üyesi Sema Nur GÜNGÖR
		6	OKUL ÖNCESİ EĞİTİM DÖNEMİNDE ÇOCUĞA SAHİP OLAN EBEVEYNLERİN YAPAY ZEKÂYA İLİŞKİN METAFORİK ALGILARININ İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Cansu KÖKEN Dr. Öğr. Üyesi Gözdenur IŞIKCI BAŞKAYA
		7	AN EXAMINATION OF GRADUATE THESES ON PROGRAM EVALUATION IN PRESCHOOL EDUCATION	Yüksek Lisans Öğrencisi Semanur YEŞİLBAŞ Doç. Dr. Didem KAYAHAN YÜKSEL
		8	OKUL ÖNCESİ DÖNEM 48-60 AYLIK ÇOCUKLARA UYGULANAN MÜZİKLİ OYUNLARIN ETKİLERİNİN ÇEŞİTLİ GELİŞİMSEL ÖZELLİKLERE GÖRE İNCELENMESİ	Bilim Uzmanı Berkay GÖK Prof. Dr. Sibel KARAKELLE Prof. Dr. Fatma ÇALIŞANDEMİR
		9	OKUL ÖNCESİ BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN MESLEKİ KAYGI VE MOTİVASYON DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ: KARMA YÖNTEM ARAŞTIRMASI	Bilim Uzmanı Ayşe GÖKÇEN Prof. Dr. Fatma ÇALIŞANDEMİR Prof. Dr. Özlem TAGAY
			Okul Müdürlerinin Dönüşümcü Liderlik Davranışları ile Öğretmenlerin Değişime Açıklıkları ve Teknoloji ÖzYeterlikleri Arasındaki İlişki: Bir Yapısal Eşitlik Modellemesi	Sıla DOĞAN TAŞCI Doç. Dr. Onur ERDOĞAN
		10	THE PREDICTIVE POWER OF COGNITIVE FLEXIBILITY OF UNIVERSITY STUDENTS ON CRITICAL INTERNET LITERACY	Çocuk Gelişimci Busenur ORDU Doç. Dr. Seda SAKARYA

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Doç. Dr. ABİDİN KEMEÇ**	1	ULUSLARARASI YEŞİL KAMPÜS SIRALAMALARI: UŞAK ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ	Doç. Dr. ABİDİN KEMEÇ
		2	AKILLI KENTLER VE ULUSLARARASI STANDARTLAR	Doç. Dr. ABİDİN KEMEÇ
		3	DİJİTAL GÜVENLİK VE SİBER VATAN: ULUSAL EGEMENLİĞİN YENİ SINIRLARI	Dr. Begüm ÇARDAK
		4	PERFORMANCE-ORIENTED MANAGEMENT IN URBAN PUBLIC SERVICES: HUMAN RESOURCE STRATEGIES WITHIN THE FRAMEWORK OF NEW PUBLIC MANAGEMENT	Dr. Öğr. Üyesi A. Muhammet BANAZILI
		5	TRACING THE TRACES OF THE NEW PUBIC MANAGEMENT APPROACH IN THE CONSTITUTIONS OF THE REPUBLIC OF TÜRKİYE	Dr. Öğr. Üyesi A. Muhammet BANAZILI
		6	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN JOB SATISFACTION AND INTENTION TO LEAVE IN A LOCAL GOVERNMENT: SAFRANBOLU MUNICIPALITY CASE	Assoc. Prof. Dr. Can Biçer Fatma Erdoğan
		7	MODERNLEŞME DÖNEMİ TÜRK EDEBİYATINDA, KADININ EĞİTİM HAKKI ve ÇALIŞMA HAKKI	Yüksek Lisans Öğrencisi Kader KEŞ Doç. Dr. Emre SAVUT
		8	Post-Bureaucratic State or Digital Weberianism? Rethinking Bureaucratic Authority in the Age of Digital Governance	Asst. Prof. Sevil Zengin Gupta
		9	DİJİTALLEŞEN YEREL YÖNETİŞİMDE KENT KONSEYLERİ VE ÇÖZÜM MASALARI: GELENEKSELDEN HİBRİT KATILIMCILIĞA BİR LİTERATÜR ANALİZİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Çağrı GÖKDAĞ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Bülent AKKAYA**	1	GELECEĞİN İŞ DÜNYASINDA BİLİNÇLİ TERCİH VE YETKİNLİK: ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN KARİYER PLANLAMA YETKİNLİKLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Doç. Dr. Bülent AKKAYA Prof. Dr. Akif TABAK
		2	FİNANS VE BANKACILIK ÖĞRENCİLERİN YAPAY ZEKA ALGILARI VE KAYGI DÜZEYLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Doç. Dr. Bülent AKKAYA
		3	Tüketim Kültürü Bağlamında Döngüsel Ekonomiye Bir Bakış	Öğr. Gör. Benay BULUT ŞAHİNER Öğr. Gör. Sude DIŞKAYA
		4	KAMU ÖZEL İŞBİRLİĞİ İLE YAPILAN ENERJİ ALTYAPISI PROJELERİNİN DOĞRUDAN YABANCI YATIRIMLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELER ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Murteza BALİ Dr. Öğr. Üyesi Güneş TOPÇU
		5	KURUMSAL MİMARİDE YAPAY ZEKA TEKNOLOJİSİ	Dr. Öğr. Üyesi Sefer AYDOĞAN Doç. Dr. Sebahattin Kılınç Doç.Dr. Murat SAĞBAŞ
		6	THE IMPACT OF ENTREPRENEURSHIP AND INNOVATION INDICATORS ON THE ECONOMIC CONTRIBUTION OF SMES: TÜRKİYE 2023 ANALYSIS	Doç.Dr. Burhan AKYILMAZ Yüksek Lisans Öğrencisi Fatma KÖSE
		7	PYTHON İLE TEDARİK ZİNCİRİ PLANLAMASI	Dr.Onur Mesut ŞENARAS Doç.Dr.Şahin İNANÇ Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS
		8	PYTHON İLE HAFTALIK PERSONEL ÇİZELGELEME UYGULAMASI	Doç.Dr.Şahin İNANÇ Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Eylem ŞEVİK**	1	THE TRANSFORMATION OF FAMILY STRUCTURE AND HELICOPTER PARENTING	Öğr. Gör. Dr. Yasemin GEZER TUĞRUL
		2	EARLY MARRIAGES IN THE CONTEXT OF CHILDREN'S RIGHTS	Öğr. Gör. Dr. Yasemin GEZER TUĞRUL Öğr. Gör. Sema SANCAK
		3	ANTROPOSEN ÇAĞI'NIN VAROLUŞSAL İKİLEMLERİ, KAYGILARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	Dr. Nihan OSMANAĞAOĞLU
		4	MESLEKİ EĞİTİMDE GÜZELLİK ALGISI: SOSYOLOJİK BİR BAKIŞ AÇISI	Eren Kahveci
		5	TAŞRA KİMLİĞİ, BOŞ ZAMAN VE FUTBOL: ÇANAKKALE İLİ EZİNE İLÇESİ ÖRNEĞİ	Dr. Eylem ŞEVİK
		6	THE FRAGMENTATİON OF SPACE, THE TRANSFORMATİON OF LAND: THE RECONFİGURATİON OF RURALİTY THROUGH HOBBY GARDENS İN MEMLİK NEİGHBORHOOD	Yüksek Lisans Öğrencisi Aleyna TAYDAŞ Doç. Dr. Günce DEMİR
		7	ARABESK KÜLTÜRÜN DÖNÜŞEN KODLARI: SINIF, GÖÇ VE KENTLEŞME BAĞLAMINDA BİR ANALİZ	Prof. Dr. Ercan ŞAHBUDAK Yüksek Lisans Öğrencisi Merve ACET Dr. İlhan KARAHAN
		8	RENKLERİN TOPLUMSAL ANLAMLARI; SEMBOLİZM, AYRIMCILIK VE DAYANIŞMA ÖRNEKLERİYLE SOSYOLOJİK BİR ANALİZ	Prof. Dr. Ercan ŞAHBUDAK Doktora Öğrencisi Elif ÖZDEMİR YARIŞ Dr. İlhan KARAHAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Nuray DEMİREL ARICI**	1	HİLELİ FİNANSAL RAPORLAMA LİTERATÜRÜ ÜZERİNE RETROSPEKTİF BİR ÇALIŞMA	Prof. Dr. Nuray DEMİREL ARICI
		2	ENFLASYONUN GENÇ TÜKETİCİLERİN SATIN ALMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ: BİR SAHA ARAŞTIRMASI	Prof. Dr. Nuray DEMİREL ARICI Yusuf MUHTAROĞLU Mert ŞALVARLI Neslihan YALÇIN
		3	FİNANSAL OKURYAZARLIK, KAYIPTAN KAÇINMA VE RİSKTEN KAÇINMA İLİŞKİLERİNİN DAVRANIŞSAL PERSPEKTİFTEN ANALİZİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Songül KAYA Dr. Öğr. Üyesi Asena Gizem YİĞİT
		4	Going public to invest? The impact of use-of-proceeds intention disclosure on financial performance	Assoc. Prof. Dr. Lokman TÜTÜNCÜ
		5	YEŞİL TAHVİLLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİR FİNANS: KÜRESEL EĞİLİMLER VE TÜRKİYE İÇİN GELECEK PERSPEKTİFLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Sibel KINIŞ Prof. Dr. Derviş BOZTOSUN Dr. Zühal KINIŞ
		6	FİNANSAL OKURYAZARLIK LİTERATÜRÜNE GENEL BİR BAKIŞ	Şükriye AYDIN Prof. Dr. Derviş BOZTOSUN Dr. Naciye HATTATİOĞLU
		7	EVALUATING INVESTMENT SPENDING PERFORMANCE ACROSS INDUSTRIAL AND SERVİCE SECTORS: AN INTEGRATED LOPCOW–MARCOS APPROACH	Assoc. Prof. Dr. Ceyda YERDELEN KAYGIN Assoc. Prof. Dr. Musa GÜN Dr. Osman Nuri AKARSU
		8	MAKRO İHTİYATİ REGÜLASYONLARIN TÜRKİYE'DE TÜKETİCİ KREDİLERİ PİYASASINA ETKİSİ: 2020 SONRASI DÖNEM ANALİZİ	Doç. Dr. Gökhan ÖZKUL Doç. Dr. Ozan ÖZDEMİR Burcu BARLAS

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Sanjay Bhattacharya,**	1	CULTURALLY RESPONSIVE PEDAGOGY FOR ETHNIC MINORITY STUDENTS IN CHINESE MULTILINGUAL CLASSROOMS	Prof. Dr. Zhao Min, Wang Lili, Dr. Guo Qiang
		2	AI-ASSISTED ADAPTIVE LEARNING SYSTEMS FOR PERSONALIZED MATHEMATICS INSTRUCTION IN URBAN CHINA	Assoc. Prof. Dr. Liu Xiaoyan, Chen Peng, Zhang Rui
		3	MONTESSORI PRINCIPLES ADAPTED FOR EARLY CHILDHOOD EDUCATION IN RURAL CHINESE KINDERGARTENS	Dr. Hu Jing, Sun Wei, Assis. Prof. Dr. Yang Lei
		4	STEM EDUCATION INNOVATIONS THROUGH MAKERSPACES IN QATARI PUBLIC SCHOOLS	Prof. Dr. Khalid Al-Thani, Mariam Al-Kuwari
		5	TEACHER COLLABORATIVE INQUIRY COMMUNITIES FOR CURRICULUM DEVELOPMENT IN QATARI CONTEXTS	Dr. Fatima Al-Mansoori, Assoc. Prof. Dr. Nasser Ali
		6	NEUROSCIENCE-INFORMED READING INTERVENTIONS FOR DYSLEXIC STUDENTS IN INDIAN PRIVATE SCHOOLS	Prof. Dr. Aruna Menon, Rahul Nair, Dr. Lakshmi Iyer
		7	RURAL TEACHER PREPARATION THROUGH COMMUNITY-BASED PEDAGOGICAL RESIDENCIES IN INDIA	Assoc. Prof. Dr. Sanjay Bhattacharya, Priya Das
		8	CRITICAL PEDAGOGY APPROACHES TO ADDRESS CASTE DYNAMICS IN URBAN INDIAN CLASSROOMS	Dr. Kavita Sharma, Vikrant Joshi,

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Xu Fei,**	1	BRONZE AGE RITUAL PRACTICES REVEALED THROUGH TERRACOTTA FIGURINES AT ANYANG ROYAL TOMBS	Prof. Dr. Zhang Wei, Li Ming, Dr. Wang Xiaoyu
		2	SILK ROAD CERAMIC TRADE NETWORKS UNCOVERED AT XINJIANG OASIS SETTLEMENTS	Assoc. Prof. Dr. Liu Jian, Chen Hao, Zhao Lin
		3	NEOLITHIC JADE WORKING TECHNOLOGIES AT LINGJIATAN CULTURE SITES IN NORTHWEST CHINA	Dr. Xu Fei, Huang Wei, Sun Ming
		4	HELLENISTIC INFLUENCES IN PRE-ISLAMIC QATARI SETTLEMENT ARCHITECTURE AND POTTERY	Prof. Dr. Khalid Al-Thani, Fatima Nasser
		5	PALEOENVIRONMENTAL RECONSTRUCTION OF EARLY ISLAMIC AGRICULTURAL TERRACES IN NORTHERN QATAR	Dr. Mariam Al-Kuwari, Assoc. Prof. Dr. Hassan Mubarak
		6	INDUS VALLEY SEAL CARVING WORKSHOPS UNCOVERED AT HARAPPAN SATELLITE SITES	Vikram Singh
		7	MEGALITHIC BURIAL COMPLEXES AND IRON AGE RITUAL LANDSCAPES IN SOUTH INDIA	Assoc. Prof. Dr. Meera Nair, Sanjay Gupta
		8	EARLY HISTORIC BUDDHIST MONASTIC ECONOMIES AT SANCHI STOOPA SATELLITE SITES	Dr. Kavita Reddy, Rahul Joshi, Assis. Prof. Dr. Neha Sharma
		9	CHALCOLITHIC ROCK SHELTER ART AND SYMBOLIC LANDSCAPES IN CENTRAL INDIA	Prof. Dr. Vikram Desai, Anjali Rao
		10	MARITIME TRADE PORTS AND ROMAN COMMERCIAL NETWORKS AT ARIKAMEDU SETTLEMENT	Dr. Sanjay Bhattacharya, Lakshmi Menon, Rohit Varma
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Hassan Abdel-Rahman,	1	THE SYNCRETISM OF PRE-ISLAMIC TENGRISM AND ISLAMIC SUFISM IN CONTEMPORARY KAZAKH SPIRITUAL PRACTICES	Prof. Dr. Almaz Kairatov, Aigerim Sarsenova, Dr. Nurlan Tursunov
		2	TEXTUAL ANALYSIS OF MEDIEVAL KAZAKH MANUSCRIPTS ON ISLAMIC LEGAL INTERPRETATIONS	Assoc. Prof. Dr. Zhuldyz Abilkair, Erlan Bekbolatov
		3	CONTEMPORARY REVIVAL OF SUFI ORDERS AND NATIONAL IDENTITY FORMATION IN POST-SOVIET KAZAKHSTAN	Dr. Saltanat Makhmutova, Bekzhan Oralov, Assis. Prof. Dr. Daulet Nurpeisov
		4	EGYPTIAN SUFI POETRY TRADITIONS AND THEIR INFLUENCE ON CONTEMPORARY ARABIC DEVOTIONAL LITERATURE	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Fatima Mahmoud
		5	QURANIC HERMENEUTICS IN CONTEMPORARY EGYPTIAN SCHOLARSHIP: BALANCING TRADITION AND MODERNITY	Assoc. Prof. Dr. Hassan Abdel-Rahman, Nour El-Din
		6	SHIITE-SUNNI DIALOGUE INITIATIVES AND INTERFAITH PEACEBUILDING IN PAKISTANI RELIGIOUS COMMUNITIES	Dr. Fatima Zahra, Assoc. Prof. Dr. Ali Raza, Imran Khan
		7	FOLK ISLAMIC HEALING PRACTICES AND BIOMEDICAL INTEGRATION IN RURAL PAKISTANI COMMUNITIES	Prof. Dr. Muhammad Aslam, Sobia Ahmed, Dr. Naveed Malik
		8	CONTEMPORARY REINTERPRETATIONS OF JIHAD CONCEPT IN PAKISTANI MADRASA CURRICULA REFORMS	Assis. Prof. Dr. Amina Siddiqui, Tariq Mehmood

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Leila Bahrami,	1	COMPARATIVE ANALYSIS OF SHARIAH PRINCIPLES IN CONTEMPORARY IRANIAN FAMILY LAW REFORMS	Prof. Dr. Mohammad Hosseini, Reza Ahmadi, Dr. Fatemeh Karimi
		2	THE ROLE OF CONSTITUTIONAL REVIEW IN SAFEGUARDING HUMAN RIGHTS UNDER IRANIAN ISLAMIC REPUBLIC FRAMEWORK	Assoc. Prof. Dr. Ali Jafari, Soraya Mahmoudi
		3	ENVIRONMENTAL LIABILITY REGIMES UNDER IRANIAN CIVIL AND ISLAMIC LAW PRINCIPLES	Dr. Leila Bahrami, Hassan Rezaei, Assis. Prof. Dr. Nima Sharifi
		4	REFORMING ADMINISTRATIVE JUDICIAL REVIEW MECHANISMS IN EGYPTIAN POST-ARAB SPRING LEGAL SYSTEMS	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Mariam Hassan
		5	ISLAMIC FINANCE REGULATION CHALLENGES IN EGYPTIAN BANKING SECTOR DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Fatima Abdel Rahman, Omar Khalil
		6	CONSTITUTIONAL REFORMS AND PROPERTY RIGHTS PROTECTION IN MOLDOVAN POST-SOVIET LEGAL TRANSITION	Dr. Ion Popescu, Prof. Dr. Maria Ceban, Victor Lupu
		7	ANTI-CORRUPTION LEGISLATION EFFECTIVENESS IN MOLDOVAN PUBLIC PROCUREMENT SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Ana Gurau, Dr. Nicolae Andronic

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Sevinc Nuriyeva,**	1	HUMAN TRAFFICKING VICTIM PROTECTION FRAMEWORKS IN MOLDOVAN CRIMINAL JUSTICE REFORMS	Assis. Prof. Dr. Olga Rotaru, Stefan Balan, Dr. Elena Ciumac
		2	INNOVATIVE STEM TEACHING METHODOLOGIES FOR RURAL MOLDOVAN SECONDARY SCHOOLS ENHANCING CRITICAL THINKING SKILLS	Prof. Dr. Ion Ceban, Dr. Maria Popa,
		3	BILINGUAL EDUCATION MODELS FOR ROMANIAN AND RUSSIAN-SPEAKING STUDENTS IN NORTHERN MOLDOVAN PRIMARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Elena Ursu, Victor Rotaru
		4	DIGITAL LITERACY DEVELOPMENT THROUGH MAKER SPACES IN URBAN MOLDOVAN VOCATIONAL TRAINING CENTERS	Dr. Natalia Gherman, Mihai Balan, Assis. Prof. Dr. Olga Crudu
		5	COMMUNITY-BASED TEACHER TRAINING PROGRAMS ADDRESSING ETHIOPIAN RURAL EDUCATION DROPOUT CRISES	Prof. Dr. Tadesse Alemu, Selamawit Getachew
		6	INTEGRATING INDIGENOUS ECOLOGICAL KNOWLEDGE INTO ETHIOPIAN PRIMARY SCIENCE CURRICULA FOR SUSTAINABLE LEARNING	Dr. Firew Assefa, Assoc. Prof. Dr. Mulugeta Bekele
		7	FLIPPED CLASSROOM MODELS ENHANCING CRITICAL READING SKILLS AMONG AZERBAIJANI UNIVERSITY STUDENTS	Prof. Dr. Aysel Mammadova, Elnur Gasimov, Dr. Leyla Aliyeva
		8	INCLUSIVE EDUCATION FRAMEWORKS FOR CHILDREN WITH SPECIAL NEEDS IN BAKU MUNICIPAL PRESCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Sevinc Nuriyeva, Kamran Huseynov
		9	STEAM EDUCATION INTEGRATION THROUGH AZERBAIJANI FOLK ARTS IN GANJA SECONDARY SCHOOLS	Dr. Tarana Khalilova, Assis. Prof. Dr. Rauf Mammadov, Nigar Sadigova
		10	MENTORSHIP PROGRAMS FOR FIRST-YEAR TEACHERS IN AZERBAIJANI REGIONAL VOCATIONAL SCHOOLS	Fidan Ismayilova, Dr. Vugar Aliyev
			ECOLOGICAL EDUCATION CURRICULA INCORPORATING CASPIAN SEA CONSERVATION IN AZERBAIJANI COASTAL SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Sevinj Mirzayeva, Rashad Novruzov
		11	ASSESSMENT REFORMS IMPLEMENTING PORTFOLIO-BASED EVALUATION IN AZERBAIJANI LANGUAGE ARTS CLASSROOMS	Prof. Dr. Gunduz Ismayilov, Zaur Kerimov, Elmira Hasanova

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Siti Nurjanah,**	1	MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION CHALLENGES AMONG ALBANIAN DIASPORA COMMUNITIES IN EUROPE	Prof. Dr. Arben Lika, Dr. Elira Deda, Sokol Meta
		2	GENDER ROLES TRANSFORMATION IN POST-SOCIALIST ALBANIAN RURAL COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Luljeta Hoxha, Beni Qirjako
		3	URBAN POVERTY AND SOCIAL EXCLUSION DYNAMICS IN TIRANA'S INFORMAL SETTLEMENTS	Dr. Fatmir Bega, Mira Shehu, Assis. Prof. Dr. Gentian Elezi
		4	ISLAMIC REVIVALISM AND YOUTH IDENTITY FORMATION IN INDONESIAN URBAN NEIGHBORHOODS	Prof. Dr. Ahmad Syarif, Dr. Nurul Hidayah
		5	CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES AMONG INDONESIAN COASTAL FISHING COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Siti Nurjanah, Budi Santoso
		6	ETHNIC MINORITY INTEGRATION CHALLENGES IN MULTIETHNIC KAZAKHSTANI CITIES	Yerkebulan Tastanbekov, Dr. Aizhan Kaskyrbekova
		7	TRANSNATIONAL FAMILY NETWORKS AMONG LABOR MIGRANTS FROM RURAL KAZAKHSTAN	Dr. Zhanna Musina, Nurdaulet Abildayev
		8	URBANIZATION EFFECTS ON TRADITIONAL NOMADIC SOCIAL STRUCTURES IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Aidana Satybaldiyeva, Temirlan Orynbayev, Assis. Prof. Dr. Zhuldyz Kenzhegulova

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Rina Susanti,**	1	IMPACT OF EU INTEGRATION POLICIES ON ALBANIAN AGRICULTURAL EXPORTS AND RURAL DEVELOPMENT	Prof. Dr. Arben Hoxha, Dr. Liriana Kola, Enis Meta
		2	MICROFINANCE INITIATIVES AND WOMEN ENTREPRENEURSHIP GROWTH IN POST-SOCIALIST ALBANIAN COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Dorina Deda, Fatmir Gjinaj
		3	TOURISM DEVELOPMENT STRATEGIES AND THEIR EFFECTS ON REGIONAL ECONOMIC DISPARITIES IN ALBANIA	Dr. Blerta Vokshi, Assis. Prof. Dr. Ilir Bejleri, Mira Llagami
		4	ISLAMIC FINANCE PRINCIPLES APPLICATION IN INDONESIAN SUSTAINABLE PALM OIL SUPPLY CHAINS	Prof. Dr. Muhammad Syarif Hidayat, Aisyah Nur
		5	DIGITAL ECONOMY TRANSFORMATION AND SME ADOPTION CHALLENGIES IN RURAL INDONESIA	Assoc. Prof. Dr. Rina Susanti, Dr. Budi Santoso
		6	GREEN ENERGY INVESTMENTS AND ECONOMIC DIVERSIFICATION AWAY FROM OIL DEPENDENCE IN KAZAKHSTAN	Prof. Dr. Yerzhan Bazarov, Assis. Prof. Dr. Aizhan Kenzhegulova, Timur Sarsenov
		7	BLOCKCHAIN TECHNOLOGY APPLICATIONS IN IMPROVING TRANSPARENCY OF KAZAKHSTAN'S COMMODITY TRADING	Dr. Gulnara Abilkhanova, Nurdaulet Zhumagaliyev
		8	FISCAL DECENTRALIZATION REFORMS AND LOCAL GOVERNMENT EFFICIENCY IN KAZAKHSTAN'S REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Saltanat Janenova, Ruslan Myachkov, Dr. Aidar Amangali

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Maria Stavros**	1	MICROFINANCE ACCESSIBILITY AND RURAL ENTREPRENEURSHIP GROWTH IN THE PHILIPPINES POST-PANDEMIC RECOVERY	Prof. Dr. Maria Santos, Dr. Jose Rizal, Ana Lopez
		2	FISCAL POLICY RESPONSES TO INFLATIONARY PRESSURES IN THE PHILIPPINE REMITTANCE-DEPENDENT ECONOMY	Assoc. Prof. Dr. Carlo Mendoza, Leila Cruz
		3	INFORMAL SECTOR DYNAMICS AND TAX COMPLIANCE STRATEGIES IN URBAN PHILIPPINE MARKETS	Dr. Sofia Reyes, Ramon Garcia, Assis. Prof. Dr. Elena Vargas
		4	EUROZONE DEBT SUSTAINABILITY AND GREEK FISCAL CONSOLIDATION POST-2010 SOVEREIGN CRISIS	Prof. Dr. Dimitri Papadopoulos, Eleni Kostas
		5	TOURISM LED GROWTH HYPOTHESIS TESTING IN THE GREEK ISLAND ECONOMY CONTEXT	Dr. Nikos Theodorou, Assoc. Prof. Dr. Maria Stavros
		6	ENERGY TRANSITION ECONOMICS AND NATURAL GAS DEPENDENCY IN THE RUSSIAN FEDERATION	Prof. Dr. Alexei Ivanov, Dr. Olga Petrova, Sergei Kuznetsov
		7	SANCTIONS IMPACT ON RUSSIAN IMPORT SUBSTITUTION INDUSTRIAL POLICIES	Assoc. Prof. Dr. Natalia Volkov, Ivan Morozov
		8	REGIONAL INEQUALITY DYNAMICS IN THE RUSSIAN FAR EAST DEVELOPMENT PROGRAMS	Dr. Elena Smirnova, Assis. Prof. Dr. Dmitry Fedorov, Anna Belova
		9	MONETARY POLICY TRANSMISSION IN POST-SANCTION RUSSIAN FINANCIAL MARKETS	Prof. Dr. Vladimir Kozlov

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assoc. Prof. Dr. Maria Georgiadou**	1	SPANISH COLONIAL ARCHITECTURE AND CULTURAL HYBRIDITY IN 17TH-CENTURY PHILIPPINE PROVINCIAL TOWNS	Prof. Dr. Maria Santos, Dr. Jose Rizalino, Ana Cruz
		2	AMERICAN OCCUPATION POLICIES AND FILIPINO ELITE LAND CONSOLIDATION DURING THE EARLY 20TH CENTURY	Assoc. Prof. Dr. Roberto Villanueva, Leila Tan
		3	JAPANESE OCCUPATION RESISTANCE NETWORKS AND GENDER DYNAMICS IN LUZON GUERRILLA MOVEMENTS	Dr. Elena Morales, Ferdinand Reyes, Assis. Prof. Dr. Sofia Lim
		4	BYZANTINE ADMINISTRATIVE REFORMS AND THEIR IMPACT ON MEDIEVAL GREEK ISLAND ECONOMIES	Prof. Dr. Nikos Papadopoulos, Eleni Stavrou
		5	OTTOMAN COMMERCIAL LAW APPLICATIONS IN 18TH-CENTURY GREEK MERCHANT COMMUNITIES	Dr. Dimitri Koukoulis, Assoc. Prof. Dr. Maria Georgiadou
		6	PORTUGUESE COMMERCIAL EXPANSION AND OMANI MARITIME AUTONOMY IN THE 16TH CENTURY INDIAN OCEAN	Prof. Dr. Ahmed Al-Harthi, Fatima Zahra, Dr. Salim Nasser
		7	BRITISH IMPERIAL TREATIES AND TRIBAL LAND RIGHTS NEGOTIATIONS IN 19TH-CENTURY OMAN	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Busaidi, Mariam Said
		8	DUTCH VOC FACTORY RECORDS AND OMANI PEARL DIVERSITY IN 17TH-CENTURY GULF TRADE	Dr. Nasser Al-Maskari, Assis. Prof. Dr. Layla Harthi, Omar Khalfan

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Mustafa NAİMOĞLU Assoc. Prof. Sefa ÖZBEK**	1	A THEORETICAL ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF GREEN TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY	Assoc. Prof. Mustafa NAİMOĞLU Assoc. Prof. Sefa ÖZBEK
		2	THE IMPACT OF FOSSIL FUEL R&D EXPENDITURES ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY: THEORETICAL APPROACHES AND AN EVALUATION WITHIN THE CONTEXT OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS	Assoc. Prof. Mustafa NAİMOĞLU Assoc. Prof. Sefa ÖZBEK
		3	KAPSAYICI BÜYÜME ENDEKSLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ	Prof. Dr. Feride GÖNEL Araştırma Görevlisi Furkan İNCEDAYI
		4	Trade Openness and Environmental Quality in the European Union: Evidence from Panel Data	Doç. Dr. Ali ALTINER Prof. Dr. Eda BOZKURT Doç. Dr. Özlem TOPÇUOĞLU
		5	OPT-OUT BEHAVIOR IN AUTO-ENROLLMENT SYSTEM IN TURKEY	Dr. Zeynep AKTAŞ KORAL Prof. Dr. Halit YANIKKAYA Prof. Dr. S. Haluk ÇİTÇİ
		6	TÜRKİYE'DE GÜVENLİK RİSKLERİNİN YABANCI SERMAYE GİRİŞLERİNE ETKİSİ	Dr.Öğr.Üyesi Ömer YILMAZ
		7	TÜRKİYE'DE ÇEVRESEL BOZULMANIN BELİRLEYİCİLERİ: MİLLİ GELİR VE DEMOGRAFİK YAPI ÜZERİNE AMPİRİK BİR İNCELEME	Dr.Öğr.Üyesi Ömer YILMAZ
		8	THE IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES ON THE MARKET SHARE OF CONVENTIONAL MANUFACTURERS IN THE TURKISH AUTOMOTIVE SECTOR	Doktora Öğrencisi, Merve KARAMAN Prof. Dr. Gülden ÜLGEN
		9	THE ROLE OF TECHNOLOGY IN IMPERFECTLY COMPETITIVE MARKETS	Sena ERGÜDEN Prof. Dr. Gülden ÜLGEN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Öğr. Üyesi Kerim Kaan GÖKÜSTÜN	1	EVALUATION OF NUTRITIONAL STATUS IN KIDNEY DISEASES: CURRENT APPROACHES	RDN. Şaziye Didar GANİ Asst. Prof. Dr. Rahime Evra KARAKAYA
		2	TİP-2 DİYABETLİ KADINLARDA BESLENME DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	Hilal BATMAZ SEVİNİR Prof. Dr. Fatma Esra GÜNEŞ
		3	18-65 YAŞ ARASI YETİŞKİNLERİN FONSİYONEL BESİN TÜKETİMİ İLE BKİ VE BEL ÇEVRESİ ARASINDAKİ İLİŞKİ	Diyetisyen Nur SERT Dr. Öğr. Üyesi Wida Simzari
		4	KİSTİK KİSTİK FİBROZİS HASTALARINDA METABOLİK DEĞİŞİMLERE UYGUN GÜNCEL BELENME ÖNERİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Kerim Kaan GÖKÜSTÜN Doç. Dr. Gülşah BARĞI
		5	İNTERSTİSYEL AKCİĞER HASTALIĞI OLAN BİREYLERDE REHABİLİTASYON GEREKÇELERİ	Doç. Dr. Gülşah BARĞI Dr. Öğr. Üyesi Kerim Kaan GÖKÜSTÜN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Öğr. Gör. Dr. Begüm Buse SERTGÖZ Dr. Öğr. Üyesi. Armağan MACİT**	1	OKUL ÖNCESİ EĞİTM KURUMLARINDA AFET TATBİKATLARININ UYGULANMASI VE YETERLİLİK DÜZEYLERİ	Fatma Aygün ÇAKAR Doç. Dr. Harun YAKA
		2	OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA MEYDANA GELEBİLECEK KAZALAR VE İLK YARDIM	Ümmügülsüm BÜBER Dr. Öğr. Üyesi Korhan ÖKTEN
		3	PNÖMOKONYOZ MESLEK HASTALARININ ÖZELLİKLERİNİN GİZİL SINIF ANALİZİ	Zeynep BAŞAR Prof.Dr.Mithat ZEYDAN
		4	SİNOP İLİNDEKİ TEKSTİL ÇALIŞANLARININ İŞ KAZASI GEÇİRME EĞİLİMLERİ: TANIMLAYICI BİR ARAŞTIRMA	Mine Kızılkan Doç. Dr. Nurdan Karpuz
		5	MEDICAL WASTE MANAGEMENT AND SUSTAINABILITY PERSPECTIVES IN HEALTH CARE FACILITIES	Havali AKKAYA Dr. Öğr. Üyesi Fatma Didem TUNÇEZ
		6	SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİNDE YER ALAN RİSKLERİN L TİPİ RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Sılanur KÖSE Öğr. Gör. İsmail AKŞİT
		7	PERAKENDE SEKTÖRÜNDE ERGONOMİK RİSK FAKTÖRLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Doktora Öğrencisi Özgür CENGİZ Öğr. Gör. İsmail AKŞİT
		8	SAĞLIK KURUMLARINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ EĞİTİMLERİ VE POLİTİKA ETKİNLİĞİ	Yüksek Lisans Ögrencisi Ahmet AKTAR Dr.Ögretim Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER
			SAĞLIKTA YAPAY ZEKA VE DİJİTALLEŞMENİN ROLÜ	Yüksek Lisans Ögrencisi Ahmet AKTAR Dr.Ögretim Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER
			The Role of Corporate Leadership in Occupational Health and Safety: A Safety-Oriented Management Approach	Dr. Evin MİSER Dr. Cihan Serhat KART
			The Transformation of Training Processes in Occupational Health and Safety: Digitalization and Next-Generation Learning Models	Dr. Evin MİSER Dr. Cihan Serhat KART
			HAVACILIK OPERASYONLARINDA EMNİYET KÖRLÜĞÜ: ALGI–DAVRANIŞ KOPUKLUĞUNUN EMNİYET BOYUTU	Öğr. Gör. Dr. Begüm Buse SERTGÖZ Dr. Öğr. Üyesi. Armağan MACİT

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Mustafa GÜNAY**	1	STATISTICAL MODELING OF THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS IN PETG MATERIAL PARTS PRODUCED BY FDM METHOD	Prof. Dr. Fuat KARTAL Assist Prof. Arslan KAPTAN
		2	STABILIZATION OF HYGROSCOPIC MATERIALS (PETG/TPU) IN FDM PRINTING PROCESSES USING HIGH-SPEED 3D PRINTERS	Prof. Dr. Fuat KARTAL Assist Prof. Arslan KAPTAN
		3	TEL EROZYONLA İŞLEMEDE TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE MODELLENMESİ	Öğr. Gör. Salih GÜVERCİN Prof. Dr. Mustafa GÜNAY
		4	TEL EROZYONLA İŞLEMEDE (WEDM) ENERJİ TÜKETİMİNİN ÖNEMİ	Prof. Dr. Mustafa GÜNAY
		5	Hafif Ticari Araç Koltuklarında Harness Konnektör Yarım Montaj Sorununun İyileştirilmesi ve Poke-Yoke Destekli Dizayn Uygulaması	Student Engineer İlbey KALE Sr. Designer Mutlu AKSOY
		6	OTOMOTİV KOLÇAK VE BİLEŞENLERİNDE CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİPROPİLENİN MEKANİK VE FİNANSAL PERFORMANSI	Student Engineer İlbey KALE Enes Levent Kalkan R&D Manager Bilal Bayır
		7	ATOMİZASYON GEREKTİREN ÇÖZELTİLER İÇİN NOZUL TASARIMININ CFD ANALİZİ VE PYTHON İLE SAYISAL DOĞRULANMASI	Berke OKAY Galip ÇAPÇI
		8	ANTİK DÖNEM BRONZ OK UÇLARININ DENEYSEL ARKEOLOJİ YÖNTEMLERİYLE ÜRETİMİ VE MİKROYAPI ANALİZİ	Ayşegül ŞEKER Prof. Dr. Oktay ELKOCA
		9	FDM TEKNOLOJİSİ İLE İMAL EDİLEN ABS VE PA6 GF KOMPOZİT NUMUNELERİN BASMA DAYANIMI VE ENERJİ SÖNÜMLEME KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ	Fadlullah YILDIRIM Burak BOZ Özcan ATEŞ Doç. Dr. Emre İsa ALBAK
		10	FDM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN İNCE CİDARLI ABS TÜPLERİN ÇARPIŞMA DAYANIMINA VE ENERJİ SÖNÜMLEME KAPASİTESİNE DİKİŞ POZİSYONUNUN ETKİSİ	Burak BOZ Fadlullah YILDIRIM Doç. Dr. Emre İsa ALBAK

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Ahmet Turan DEMİR**	1	MOLECULAR ALTERATIONS AFFECTING COAGULATION AND EXTRACELLULAR MATRIX REMODELING PATHWAYS IN OSTEOARTHRITIS: A PLASMA PROTEOMICS STUDY	Duygu Sarı Ak Fatih Çon Alev Kural
		2	KUERSETİNİN ESKAPE PATOJENLERİ ÜZERİNE ANTİMİKROBİYAL VE ANTİBİYOFİLM ETKİLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Abdülaziz İNANÇ Arş. Gör. Dr. Mustafa ÖKEER Arş. Gör. Dr. Ayşegül ATEŞ DEĞİRMENCİ Prof. Dr. Hüseyin TAŞLI
		3	A Chemometric Study on the Relationship Between Molecular Descriptors and Inhibitory Potency: Multivariate Analytical Profiling of Alzheimer's Disease Related Alkaloids	Dr. Ahmet Turan DEMİR
		4	Multivariate Chemometric Data Analysis in Determining the Water Solubility Profile of Drug Candidates: Development and Performance Validation of an Analytical Model	Dr. Ahmet Turan DEMİR
		5	ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ VE TEK SAĞLIK YAKLAŞIMI	Dr. Öğr. Üyesi Elif ÇELİK Doç. Dr. Aliye GÜLMEZ SAĞLAM Araş. Gör. Dr. Seda GÖKDEMİR
		6	BIOFILM FORMATION IN BACTERIA: IMPORTANCE AND MECHANISMS	Doç. Dr. Aliye GÜLMEZ SAĞLAM Dr. Öğr. Üyesi Elif ÇELİK Araş. Gör. Dr. Seda GÖKDEMİR
		7	Genotoxic Effects of Aluminum Oxide Nanoparticles in Galleria mellonella	İrem ÖZGÜVEN Famil YUSUFOĞLU Dr. Zülbiye DEMİRTÜRK Dr. Öğr. Üyesi Fevzi UÇKAN
		8	DEVELOPMENT OF A NEW MICROBIAL BIOSENSOR BASED ON P.PUTIDA MODIFIED WITH PANI-GLUTARALDEHYDE-CYSTEAMINE-GOLD NANOPARTICLE-3-MPA FOR DETERMINATION OF CAFFEINE	Master of Science (MSc), Bahar NORGAZ Prof. Dr. Guven OZDEMIR Prof. Dr. Erol AKYILMAZ
		9	APOPTOSİS-RELATED MOLECULAR RESPONSES OF COLON TİSSUE TO INTERMİTTENT FASTİNG	Dr. Öğretim Üyesi. Hüseyin Allahverdi Araştırmaçı Vesila Yıldırım Araştırmaçı Sevcan Kabayer Doç. Dr. Taha Ceylani Doç. Dr. Hikmet Taner Teker

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Vedat ÇELEBİ**	1	TEKNOLOJİ GELİŞİMİNİN KARL JASPERS'IN SINIR DURUMLARI ANLAYIŞINI TEHDİT ETMESİ: KONTROLLÜ MAKİNE YERİNE MAKİNE KONTROLLÜ VAROLUŞ PROBLEMİ ÜZERİNE FELSEFİ BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi Muammer AKTAY
		2	THE METHOD LEADING TO CERTAIN KNOWLEDGE IN AL GHAZZALI AND DESCARTES: DOUBT?	Doç. Dr. Hüseyin Fırat ŞENOL
		3	CAUSALITY IN AL-ĠAZĀLĪ AND HUME: THE POSSIBILITY OF KNOWLEDGE BETWEEN REASON, REVELATION, AND HABIT	Doç. Dr. Hüseyin Fırat ŞENOL
		4	ZİHİN FELSEFESİNDE QUALİA KAVRAMI VE ÖZNEL DENEYİMİN NESNEL BİLGİSİ BAĞLAMINDA FİZİKALİZM ELEŞTİRİSİ	Prof. Dr. Vedat ÇELEBİ
		5	HAZ KAVRAMININ FELSEFİ VE NÖROBİYOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ	YL. Öğr. Hacı Ali BAYTOK
		6	SCİENTİFİCİTY AND PSEUDOSCİENCE	Arş. Gör. Dr. Soykal YAKIN
		7	THE MYTH OF NEUTRAL LANGUAGE: TRUTH VS. APTNESS	Arş. Gör. Dr. Soykal YAKIN
		8	YAŞLILIĞIN ERDEMLERİ BAĞLAMINDA CICERO'NUN YAŞLILIĞA İLİŞKİN DÜŞÜNCELERİ	Dr. Öğr. Üyesi Celal SABANCI

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Elena Petrovska,**	1	DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES FOR ENHANCING SUPPLY CHAIN RESILIENCE IN INDIAN MANUFACTURING FIRMS	Prof. Dr. Rajesh Gupta, Dr. Priya Sharma, Vikram Singh
		2	SUSTAINABLE BUSINESS MODEL INNOVATION THROUGH CIRCULAR ECONOMY PRACTICES IN THE INDIAN TEXTILE INDUSTRY	Assoc. Prof. Dr. Meera Patel, Arjun Desai, Neha Kapoor
		3	IMPACT OF ARTIFICIAL INTELIGENCE ADOPTION ON CUSTOMER EXPERIENCE MANAGEMENT IN INDIAN E-COMMERCE PLATFORMS	Dr. Sanjay Rao, Anjali Verma, Rohit Kumar
		4	FAMILY BUSINESS SUCCESSION PLANNING CHALLENGES AND STRATEGIES IN EMERGING INDIAN MARKETS	Prof. Dr. Anil Choudhary, Divya Malhotra
		5	FINTECH INNOVATION ECOSYSTEM DEVELOPMENT FOR FINANCIAL INCLUSION IN EGYPTIAN RURAL COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Dr. Fatima Hassan, Omar Khalil
		6	SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT STRATEGIES THROUGH COMMUNITY-BASED ENTERPRISE MODELS IN EGYPT	Dr. Nour Abdel-Malek, Youssef Ramadan
		7	BLOCKCHAIN APPLICATIONS FOR TRANSPARENT SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN EGYPTIAN AGRICULTURE EXPORTS	Prof. Dr. Karim Hassan, Sara Mahmoud, Assis. Prof. Dr. Ali Farouk
		8	STRATEGIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PRACTICES FOR ENHANCING INNOVATION PERFORMANCE IN MACEDONIAN SMEs	Assoc. Prof. Dr. Elena Petrovska, Dr. Nikola Andonov
		9	CROSS-BORDER E-COMMERCE EXPANSION STRATEGIES FOR MACEDONIAN RETAILERS TARGETING EU MARKETS	Dr. Marija Kostovska, Goran Trajkovski, Prof. Dr. Vladimir Dimovski

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assis. Prof. Dr. Rubina Aslam,**	1	INDO-PERSIAN MINIATURE PAINTING TRADITIONS AND THEIR EVOLUTION IN MUGHAL-INFLUENCED PAKISTANI ART	Prof. Dr. Fatima Begum, Dr. Imran Qureshi, Aisha Rahman
		2	CALLIGRAPHY AS SPIRITUAL PRACTICE: ISLAMIC SCRIPTURAL ART IN CONTEMPORARY PAKISTANI MOSQUES	Assoc. Prof. Dr. Khalid Mahmood, Sana Parveen
		3	TRUCK ART ICONOGRAPHY: FOLK EXPRESSION AND NATIONAL IDENTITY IN PAKISTANI ROAD CULTURE	Dr. Naeem Akhtar, Zara Hussain, Bilal Khan
		4	TEXTILE DYEING TECHNIQUES AND SUSTAINABLE PRACTICES IN PAKISTANI AJRAK AND KHADDAR TRADITIONS	Assis. Prof. Dr. Rubina Aslam, Tariq Mehmood
		5	CONTEMPORARY ARABIC CALLIGRAPHY MOVEMENTS AND THEIR INTEGRATION IN DUBAI PUBLIC ART INSTALLATIONS	Prof. Dr. Saeed Al-Ketbi, Layla Mahmoud
		6	GULF ARABESQUE PATTERNS IN CONTEMPORARY UAE FURNITURE AND INTERIOR DESIGN	Dr. Fatima Al-Suwaidi, Hassan Rashed, Noor Salem
		7	STREET ART MOVEMENTS AND URBAN IDENTITY FORMATION IN DUBAI'S SATELLITE NEIGHBORHOODS	Assoc. Prof. Dr. Omar Bin Zayed, Amina Khalil
		8	MAASAI BEADWORK EVOLUTION AND CONTEMPORARY COMMERCIALIZATION IN URBAN KENYAN MARKETS	Prof. Dr. Njeri Mwaura, Dr. Kipchoge Arap, Esther Wanjiku
		9	CONTEMPORARY KENYAN SCULPTURE AND POSTCOLONIAL MEMORY POLITICS IN NAIROBI GALLERIES	Dr. Samuel Otieno, Assis. Prof. Dr. Wangari Mwangi, Juma Omondi

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Prof. Dr. Khalid Al-Mansoori,**	1	CONFUCIAN ETHICS AND CONTEMPORARY PAKISTANI MUSLIM MORAL PHILOSOPHY: A COMPARATIVE ANALYSIS	Prof. Dr. Ahmed Raza, Fatima Sheikh, Dr. Imran Malik
		2	EXISTENTIALISM IN IQBAL'S POETRY: SELFHOOD AND AUTHENTICITY IN SOUTH ASIAN CONTEXT	Assoc. Prof. Dr. Sana Parveen, Khalid Hassan
		3	POSTCOLONIAL EPISTEMOLOGY: CHALLENGING WESTERN HEGEMONY IN PAKISTANI PHILOSOPHICAL DISCOURSE	Dr. Nabil Khan, Aisha Rahman, Assis. Prof. Dr. Tariq Mehmood
		4	ENVIRONMENTAL ETHICS IN PAKISTANI ISLAMIC PHILOSOPHY: KHALIFAH RESPONSIBILITY IN ECOLOGICAL CRISIS	Prof. Dr. Zubair Ahmed, Mariam Siddiqui
		5	ARABIC PERENNIALISM AND DUBAI'S COSMOPOLITAN PHILOSOPHY: SCHUONIAN PRINCIPLES IN GULF CONTEXT	Dr. Fatima Al-Suwaidi, Assoc. Prof. Dr. Omar Khalid, Hassan Rahim
		6	NIETZSCHEAN PERSPECTIVISM AND UAE EDUCATIONAL REFORM: VALUE PLURALISM IN K-12 CURRICULA	Prof. Dr. Khalid Al-Mansoori, Sara Ahmed
		7	HEIDEGGERIAN BEING-IN-THE-WORLD: DESERT PHENOMENOLOGY IN EMIRATI EXISTENTIAL THOUGHT	Dr. Mariam Hassan, Assis. Prof. Dr. Faisal Nasser
		8	AFRICAN UBUNTU ETHICS AND KENYAN DEVELOPMENT PHILOSOPHY: COMMUNITY ONTOLOGY IN POSTCOLONIAL CONTEXT	Kwame Njoroge, Amina Wanjiku
		9	KANTIAN AUTONOMY AND MAASAI MORAL AGENCY: REASON AND TRADITION IN EAST AFRICAN ETHICS	Assoc. Prof. Dr. Elias Olang, Dr. Zawadi Kiptoo, Samuel Lekishon

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Nadia Aslam**	1	DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES FOR SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES IN PAKISTAN'S TEXTILE INDUSTRY	Prof. Dr. Ahmed Zubair, Sara Khan, Dr. Faisal Mahmood
		2	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN PRACTICES AND FIRM PERFORMANCE IN PAKISTANI AGRI-BUSINESS SECTOR	Assoc. Prof. Dr. Nadia Aslam, Bilal Raza
		3	LEADERSHIP STYLES AND ORGANIZATIONAL RESILIENCE DURING ECONOMIC CRISES IN PAKISTANI MANUFACTURING	Dr. Imran Malik, Ayesha Siddiqui, Hassan Nawaz
		4	CONSUMER BEHAVIOR SHIFTS TOWARD HALAL CERTIFIED PRODUCTS IN URBAN PAKISTANI MARKETS	Assis. Prof. Dr. Rabia Younus, Zainab Ahmed
		5	FINTECH ADOPTION BARRIERS AND OPPORTUNITIES IN ALGERIAN SMES POST-DIGITAL REFORMS	Prof. Dr. Karim Belhadj, Dr. Nadia Lounis
		6	CORPORATE GOVERNANCE REFORMS AND FAMILY BUSINESS SUSTAINABILITY IN ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Samir Hadji, Amina Zerrouki, Mehdi Boualem
		7	GREEN MARKETING STRATEGIES EFFECTIVENESS IN ALGERIAN CONSUMER GOODS INDUSTRY	Dr. Yasmin Cherif
		8	INNOVATION MANAGEMENT PRACTICES IN SERBIAN TECH STARTUPS POST-PRIVATIZATION ERA	Prof. Dr. Milan Petrovic, Dr. Ana Jovanovic, Nikola Stanic
		9	CROSS-CULTURAL NEGOTIATION STRATEGIES IN SERBIAN-BALKAN BUSINESS EXPANSION	Assoc. Prof. Dr. Jelena Markovic, Igor Vukovic

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assis. Prof. Dr. Shabnam Jahan,**	1	DECENTRALIZATION REFORMS AND LOCAL GOVERNANCE EFFECTIVENESS IN RURAL BANGLADESH UNION PARISHADS	Prof. Dr. Rahman Karim, Dr. Fatima Begum, Shahidul Islam
		2	CORRUPTION PERCEPTION AND PUBLIC TRUST IN BANGLADESH CIVIL SERVICE REFORMS	Assoc. Prof. Dr. Nasrin Sultana, Arefin Hossain
		3	PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP MODELS FOR INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN FLOOD-PRONE BANGLADESH REGIONS	Dr. Mustafa Kamal, Laila Akter, Zahid Rahman
		4	WOMEN'S POLITICAL PARTICIPATION AND GENDER QUOTAS IN BANGLADESH LOCAL GOVERNMENT ELECTIONS	Assis. Prof. Dr. Shabnam Jahan, Rasheda Khanam
		5	E-GOVERNMENT ADOPTION CHALLENGES AND DIGITAL DIVIDE IN NIGERIAN FEDERAL AGENCIES	Prof. Dr. Adebayo Ogunleye, Chioma Eze
		6	FISCAL FEDERALISM AND REVENUE ALLOCATION FORMULAS IN MULTI-ETHNIC NIGERIA	Dr. Fatima Yusuf, Emeka Nwosu, Assoc. Prof. Dr. Bola Adeyemi
		7	ANTI-CORRUPTION AGENCIES EFFECTIVENESS AND POLITICAL INTERFERENCE IN NIGERIAN GOVERNANCE	Assis. Prof. Dr. Ngozi Okonkwo, Tunde Afolabi

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Nazma Chowdhury,**	1	THE IMPACT OF CLIMATE-INDUCED DISPLACEMENT ON MENTAL HEALTH AMONG RURAL YOUTH IN BANGLADESH	Prof. Dr. Rahman Karim, Dr. Fatima Begum, Arif Hossain
		2	PARENTING STYLES AND ACADEMIC STRESS AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN URBAN BANGLADESH	Assoc. Prof. Dr. Sultana Akter, Md. Sharif Ullah
		3	GENDER ROLES AND DEPRESSIVE SYMPTOMS IN RURAL BANGLADESH WIVES FACING EARLY MARRIAGE	Dr. Nazma Chowdhury, Rasheda Khanam, Protik Ahmed
		4	SOCIAL MEDIA ADDICTION AND SELF-ESTEEM AMONG BANGLADESHI ADOLESCENTS IN URBAN SLUMS	Assis. Prof. Dr. Imran Hossain, Laila Rahman
		5	POST-TRAUMATIC GROWTH AMONG BOKO HARAM KIDNAPPING SURVIVORS IN NORTHERN NIGERIA	Prof. Dr. Amina Yusuf, Chinedu Okoro
		6	WORKPLACE SPIRITUALITY AND EMPLOYEE WELL-BEING IN NIGERIAN OIL INDUSTRY COMPANIES	Dr. Ngozi Eze, Assoc. Prof. Dr. Tunde Adebayo, Fatima Aliyu
		7	ADOLESCENT IDENTITY FORMATION AMONG NIGERIAN STREET CHILDREN IN LAGOS METROPOLIS	Dr. Kemi Ogunleye, Samuel Nwosu
		8	CULTURAL FACTORS INFLUENCING DEPRESSION EXPRESSION AMONG MACEDONIAN ELDERLY POPULATIONS	Prof. Dr. Elena Petrovska, Dr. Marko Ivanov
		9	WORKPLACE MOBBING AND PSYCHOLOGICAL RESILIENCE AMONG MACEDONIAN PUBLIC SERVANTS	Assoc. Prof. Dr. Ana Georgieva, Nikola Todorov, Dr. Slavica Risteska

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Fatuma Chege**	1	CULTURALLY RESPONSIVE PEDAGOGY IN IRANIAN EFL CLASSROOMS: INTEGRATING PERSIAN LITERATURE WITH MODERN LANGUAGE TEACHING METHODS	Prof. Dr. Reza Ahmadi, Soraya Mahmoudi, Ali Jafari
		2	STEM EDUCATION REFORM THROUGH PROJECT-BASED LEARNING IN RURAL IRANIAN SECONDARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Mina Hosseini, Dr. Farhad Karimi, Zahra Bahrami
		3	DIGITAL LITERACY DEVELOPMENT AMONG IRANIAN UNIVERSITY STUDENTS: CHALLENGES AND OPPORTUNITES IN HYBRID LEARNING ENVIRONMENTS	Dr. Hassan Tavakoli, Leila Najafi
		4	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES FOR STUDENTS WITH LEARNING DISABILITIES IN IRANIAN PRIMARY SCHOOLS	Assis. Prof. Dr. Parisa Rahmani, Mohammad Rezaei, Fatemeh Soltani
		5	MOBILE LEARNING APPLICATIONS FOR NOMADIC PASTORALIST COMMUNITIES IN KENYAN ARID REGIONS	Prof. Dr. James Mwangi, Esther Kiptoo
		6	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT THROUGH PEER COACHING IN KENYAN PUBLIC SECONDARY SCHOOLS	Dr. Agnes Njoroge, Samuel Otieno, Miriam Chebet
		7	GENDER EQUITY INTERVENTIONS IN STEM SUBJECTS AMONG KENYAN RURAL GIRLS	Assoc. Prof. Dr. Fatuma Chege
		8	BLENDED LEARNING MODELS FOR OMANI TECHNICAL VOCATIONAL EDUCATION AND TRAINING INSTITUTES	Prof. Dr. Salim Al-Harthi, Dr. Noor Al-Maskari
		9	SUSTAINABLE EARTH LITERACY CURRICULA FOR OMANI PRIMARY SCHOOLS INCORPORATING BEDOUIN ECOLOGICAL KNOWLEDGE	Assoc. Prof. Dr. Aisha Al-Rashidi, Khalid Al-Mahrooqi

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Youssef Hadji**	1	LATE PERIOD FUNERARY PRACTICES AND SOCIAL HIERARCHY IN SAQQARA NECROPOLIS EXCAVATIONS	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Dr. Fatima Hassan, Karim Abdel
		2	PREDYNASTIC POTTERY TRADITIONS AND CULTURAL INTERACTIONS ALONG THE NILE DELTA	Assoc. Prof. Dr. Nour El-Din, Mariam Saleh
		3	NEW KINGDOM TEMPLE ECONOMIES AND WORKFORCE ORGANIZATION AT KARNAK COMPLEX	Dr. Hassan Mahmoud, Layla Karim, Prof. Dr. Omar Rashad
		4	ROMAN PERIOD TEXTILE PRODUCTION AND TRADE NETWORKS IN FAYUM DEPRESION SITES	Assis. Prof. Dr. Sara Ahmed, Tariq El-Feki
		5	BERBER ROCK ART TRADITIONS AND SYMBOLIC LANDSCAPES IN TASSILI N'AJJER PLATEAU	Prof. Dr. Malik Brahimi, Dr. Amina Zeroual
		6	PUNIC-PHOENICIAN COMMERCIAL INFRASTRUCTURE IN ALGERIAN COASTAL SETTLEMENTS	Assoc. Prof. Dr. Youssef Hadji, Nadia Belkacem
		7	ISLAMIC ERA WATER MANAGEMENT SYSTEMS IN MEDIEVAL ALGERIAN KSOUR	Dr. Karim Mansouri, Assis. Prof. Dr. Leila Dahmani, Sami Nour
		8	INDUS VALLEY URBAN PLANNING PRINCIPLES IN MATURE HARAPPAN SETTLEMENTS OF PAKISTAN	Prof. Dr. Rafiq Ahmed, Sara Khan
		9	BUDDHIST STUPA COMPLEXES AND PILGRIMAGE ECONOMIES IN GANDHARAN REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Imran Malik, Dr. Ayesha Rehman, Tariq Farooq

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
23 Aralık / Dec 23, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Hala Ibrahim	1	CULTURALLY RESPONSIVE PEDAGOGY FOR INTEGRATING ISLAMIC VALUES IN EGYPTIAN STEM CLASSROOMS	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Dr. Fatima Hassan, Omar Khalil
		2	DIGITAL STORYTELLING APPROACHES TO ENHANCE LITERACY DEVELOPMENT IN RURAL EGYPTIAN PRIMARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Mahmoud, Karim Abdel Rahman
		3	TEACHER MENTORSHIP PROGRAMS FOR IMPROVING CLASSROOM MANAGEMENT IN CAIRO PUBLIC SCHOOLS	Dr. Hala Ibrahim, Youssef Salem, Assis. Prof. Dr. Mariam Fouad
		4	STEMINTEGRATED ARTS EDUCATION FOR FOSTERING CREATIVITY IN EGYPTIAN MIDDLE SCHOOLS	Prof. Dr. Khaled Osman, Sara Ahmed
		5	MULTILINGUAL PEDAGOGY STRATEGIES FOR BERBER-SPEAKING STUDENTS IN ALGERIAN PRIMARY EDUCATION	Assoc. Prof. Dr. Amina Belkacem, Dr. Karim Hadji
		6	VOCATIONAL TRAINING REFORMS INCORPORATING GENDER EQUITY IN ALGERIAN TECHNICAL INSTITUTES	Dr. Samir Lounis, Nadia Zerhouni, Rachid Boualem
		7	CRITICAL PEDAGOGY APPROACHES TO ADDRESSING POSTCOLONIAL IDENTITIES IN ALGERIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Farid Benali, Leila Mansouri
		8	INCLUSIVE DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS FOR RURAL STUDENTS IN PAKISTANI PUBLIC SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Sana Iqbal, Dr. Imran Khan, Ayesha Rahman
		9	TEACHER PROFESSIONAL LEARNING COMMUNITIES FOR IMPROVING PEDAGOGICAL PRACTICES IN KARACHI SLUMS	Dr. Zahra Malik, Bilal Ahmed, Assis. Prof. Dr. Nida Farooq

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Rüştü ILGAR**	1	KIYI COĞRAFYASININ İNSAN DAVRANIŞLARINA ETKİSİ: ÇANAKKALE'DE KÜLTÜREL VE SOSYO-EKONOMİK YANSIMALAR	Prof. Dr. Rüştü ILGAR
		2	ÇANAKKALE İLİ TRAFİK SORUNLARI: 2025 YILI DEĞERLENDİRMESİ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ	Prof. Dr. Rüştü ILGAR
		3	KIRSAL ALANLARDA SOSYAL DİRENÇLİLİĞİN ANALİZİ: TUZLA ÇAYI HAVZASI (AYVACIK)	Yüksek Lisans Öğrencisi Zeynep YALÇIN Doç. Dr. Faize SARIŞ
		4	YAT TURİZMİ VE MARİNACILIĞA COĞRAFİ YAKLAŞIMLAR: PARADİGMALAR, YÖNTEMLER VE ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİ	Berat EMİRAL Prof. Dr. Kadir TEMURÇİN
		5	BAFRA OVASI'NDA ANIZ YAKIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİ VE EKOSİSTEM BASKILARI	Doçent Doktor Ali İMAMOĞLU
		6	ORMAN OKULU LİSANSÜSTÜ EĞİTİMİNE YÖNELİK TEZLERİN BİBLİYOGRAFİK ANALİZİ	Doçent Doktor Ali İMAMOĞLU
		7	SCIENTIFIC EVALUATION OF THE GEOHERITAGE POTENTIAL OF YARALIGÖZ MOUNTAIN (KASTAMONU)	Prof. Dr. Ekrem MUTLU Yüksek Lisans Öğrencisi Dilara KIVANÇ
		8	SUĞLA GÖLÜ VE YAKIN ÇEVRESİNİN JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ	Ebru YILDIRIM Prof. Dr. Yıldırım ATAYETER

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Prof. Dr., BANU KARAŞAH Assoc. Prof. Dr., EMİNE TARAKCİ EREN**	1	RETHINKING CITIES FROM A METABOLIC PERSPECTIVE	Araş. Gör. Ebru ALA
		2	ÇOCUK DOSTU KENT PERSPEKTİFİNDEN MİLLET BAHÇELERİ REHBERİ'NİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Şehir Plancısı Gizem KARACAN TEKİN
		3	İKLİM VE HİDROJEOMORFOLOJİK BASKILAR ALTINDA NEMRUT KRATER GÖLÜ'NÜN KIYI EVRİMİ (1984–2024)	Dr. Öğr. Üyesi Alperen MERAL
		4	CLIMATE-RESPONSIVE URBAN ROOFSCAPES: A SYSTEMATIC REVIEW AND A NEW HYBRID ROOF ECOSYSTEM SERVICES MATRIX	Asst. Prof. Dr. Sinan KORDON Ahmet KARCI Asst. Prof. Dr. Mahmut TUĞLUER
		5	ECO-MEMORY AND LANDSCAPE ARCHITECTURE	Arş. Gör. Büşra KUTLU Arş. Gör. İlknur YAZICI
		6	THE ROLE OF LANDSCAPE ARCHITECTURE IN RURAL TOURISM AREAS	Arş. Gör. İlknur YAZICI Arş. Gör. Büşra KUTLU
		7	COMPLEMENTARY ELEMENTS OF SPACE: FURNITURES	Prof. Dr., BANU KARAŞAH Assoc. Prof. Dr., EMİNE TARAKCİ EREN
		8	FORM EXPRESSIONS VIA LINEARITY AND EFFECTIVE ENVIRONMENT: BASIC DESIGN STUDIO EXPERIENCE	Prof. Dr., BANU KARAŞAH Assoc. Prof. Dr., EMİNE TARAKCİ EREN
			TÜRKİYE'DE KENTSEL KIYILARIN ERİŞİM VE KULLANIMI İLE İLGİLİ HAZIRLANAN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (1998-2025)	Doğa ÖZAKÇE Prof. Dr. Neriman YÖRÜR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Asst. Prof. Dr. Fatma CAVUS YONAR**	1	THE SCIENTIFIC FOOTPRINT OF A SILENT EPIDEMIC GLOBAL PUBLICATION TRENDS IN POSTMORTEM TOXICOLOGY STUDIES ON FENTANYL AND ITS DERIVATIVES	Asst. Prof. Dr. Fatma CAVUS YONAR
		2	FROM THE SILENT REGIONS OF THE GENOME TO ADDICTION: ncDNA and EPIGENETIC BIOMARKERS	MSc. Sena Nur KADEM Asst. Prof. Dr. Fatma CAVUS YONAR
		3	THE EFFECTS OF TECHNOLOGY-ASSISTED NEUROMOTOR TRAINING APPLICATIONS ON FUNCTIONALITY IN GERIATRIC REHABILITATION	Müşerref Ebru ŞEN Filiz ÖZDEMİR
		4	USE OF CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS IN PHYSIOTHERAPY	Müşerref Ebru ŞEN Filiz ÖZDEMİR
		5	ACİL SERVİSTE ADLİ OLGU YÖNETİMİ: İLK DEĞERLENDİRME VE BİLDİRİM SÜREÇLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Samet KIYAK
		6	KARDİYOVASKÜLER HASTALIKLARDA EVDE BAKIM UYGULAMALARININ YAŞAM KALİTESİNE ETKİSİ	Öğr. Gör. Dr., Zeynep YILDIRIM Doç. Dr., Sonay BİLGİN
		7	HYALURONIC ACID'S BIOLOGICAL IMPORTANCE AND UTILIZATION IN HEALTHCARE	Sana TAGHVAMANESH Assoc. Prof. Fatma AYAZ
		8	THE ROLE OF NEXT GENERATION SEQUENCING IN RARE DISEASES	Dilara YILDIRIM Sinem DÖNMEZ Zeynep Azra ER Nermin AKÇALI
		9		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Öner USLU**	1	ÖĞRENCİLERİN ÖĞRENME İKLİMİ ALGILARININ İNCELENMESİ: MENTÖR DESTEKLİ ÖĞRETMEN MESLEKİ GELİŞİM PROGRAMI İÇİN ALTYAPI ARAŞTIRMASI	Doç. Dr. Öner USLU Araş. Gör. Ece ÇOKAY TAŞCIOĞLU Dr. Nil AYKOL Dr. Duygu KANDEMİRCİ BAYIZ
		2	ÖĞRENCİLERİN OKUL DOYUMUNUN İNCELENMESİ: MENTÖR DESTEKLİ ÖĞRETMEN MESLEKİ GELİŞİM PROGRAMI İÇİN ALTYAPI ARAŞTIRMASI	Doç. Dr. Öner Uslu Dr. Nil AYKOL Dr. Duygu KANDEMİRCİ BAYIZ Araş. Gör. Ece ÇOKAY TAŞCIOĞLU
		3	İLKÖĞRETİM KURUMLARINDA GÖREV YAPAN SINIF ÖĞRETMENLERİNİN YAPAY ZEKA DESTEKLİ DERS ÖĞRETİMİNE İLİŞKİN GÖRÜŞ VE DENEYİMLERİ, KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	Prof. Dr. Necdet KONAN Şeyma DAĞDELEN
		4	OKUL YÖNETİCİLERİNİN OKUL YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARINA İLİŞKİN GÖRÜŞ, DENEYİM VE ÖNERİLERİ	Prof. Dr. Necdet KONAN Olcay SOLMAZ
		5	THE RELATIONSHIP BETWEEN DEMOGRAPHIC STATUS AND PSYCHOLOGICAL CONSTRUCTION AND EMOTIONAL INTELLIGENCE IN CHILDREN	Dr. İskender GÜLER Burcu FİDEL
		6	ASSESSMENT OF EMOTIONAL INTELLIGENCE AND PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS IN CHILDREN	Burcu FİDEL Dr. İskender GÜLER
		7	2018 VE 2024 HAYAT BİLGİSİ DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	Sultan ERTURAL Bengü Gizem AYAZ
		8	ÖĞRETMEN VE OKUL İDARECİLERİNİN ÖĞRETMENLİK KARİYER BASAMAKLARININ OKUL İKLİMİNE YANSIMALARINA YÖNELİK GÖRÜŞLERİ	Özgür DEMİRDAŞ Doç. Dr. Zeynep DEMİRTAŞ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assistant Professor, Hasan Giray Ankara Assistant Professor, Hakan Değerli**	1	THE EFFECT OF CAMPAIGNS ON HEALTH PRODUCTS IN E-COMMERCE: DETERMINANTS OF VITAMIN SALES RANKINGS DURING THE BLACK FRIDAY PERIOD	Res. Asst. Gökçen ÇELİKER Res. Asst. Burak TEKEREK
		2	AN EXAMINATION OF PERCEPTIONS TOWARD HEALTHCARE INSTITUTIONS IN TÜRKİYE THROUGH EKŞİ SÖZLÜK USER ENTRIES	Res. Asst. Burak TEKEREK Res. Asst. Gökçen ÇELİKER
		3	THE EFFECT OF HEALTHCARE WORKERS' MENTAL WORKLOAD PERCEPTION ON ORGANIZATIONAL COMMITMENT: A QUALITATIVE STUDY	Assistant Professor Tuğba MERT EMİROĞLU Mevlüt SARIÇAM
		4	THE EFFECTS OF DIGITAL HEALTH APPLICATIONS ON THE PHARMACEUTICAL MARKET AND HEALTH ECONOMICS: A LITERATURE-BASED REVIEW	Dr. Sümeyye GÖKÇENOĞLU
		5	SAĞLIK ÇALIŞANLARININ MEDİKAL TURİZME YÖNELİK FARKINDALIKLARI: BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	Yüksek Lisans Öğrencisi Yağmur Okumuş Prof. Dr. Emine Öter Gerçek
		6	OPINIONS OF HEALTHCARE EMPLOYEES ON INTERNAL AND EXTERNAL AUDITS: A QUALITATIVE STUDY	Dr. Öğr. Üyesi Tuğba MERT EMIROĞLU Mehmet Veysel SAYAN
		7	SAĞLIK TURİZMİ KAPSAMINDA HASTA DENEYİMLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	Doktora Öğrencisi Sibel YAĞCİ Doç. Dr. Sevim KOÇER
		8	ECONOMIC OUTCOMES OF GREEN AND SUSTAINABLE MANAGEMENT PRACTICES IN HOSPITALS: A SYSTEMATIC REVIEW	Assistant Professor, Hasan Giray Ankara Assistant Professor, Hakan Değerli

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Eren Baş Prof. Dr. Erol EĞRİOĞLU**	1	PID KONTROLLÜ CERRAHİ ROBOTLARDA HATA PAYININ AZALTILMASI	HİLAL SEVGİLİ GÖKDENİZ KILIÇ
		2	AN AGILE APPROACH FOR THE INTEGRATION OF SYSTEMS ENGINEERING AND SOFTWARE DEVELOPMENT TEAMS IN THE DEFENSE INDUSTRY THROUGH THE NEXUS FRAMEWORK	Dr. Pürnur FIRAT
		3	PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONUNA DAYALI SEZGİSEL BULANIK REGRESYON FONKSİYONLARI YAKLAŞIMI	Prof. Dr. Eren Baş Prof. Dr. Erol EĞRİOĞLU
		4	PREDICTION OF GROUNDWATER LEVELS WITH MULTI-MODEL APPROACHES: ARIMAX, VAR, MACHINE LEARNING AND SHAP-BASED EXPLAINABILITY ANALYSIS	Melike Nur KOÇAK KATİPOĞLU Asst. Prof. Zeynep Özge TERZİOĞLU
		5	MODERN ORDULARDA İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TAKTİK KULLANIMINDA YAPAY ZEKANIN ETKİNLİĞİ	Serkan BALCI Dr. Sonay GÖRGÜLÜ BALCI Doç. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI
		6	B2C E-TİCARET SİPARİŞ SÜREÇLERİNİN SÜREÇ MADENCİLİĞİ İLE ANALİZİ: SİPARİŞTEN TESLİMAT, İPTAL VE İADE SÜREÇLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	Dr. Fettah KURTULUŞ
		7	OPTIMIZATION STABILITY UNDER VARYING LEARNING RATES FOR RETINAL DISEASE CLASSIFICATION	Asst. Prof. Dr. İsmail IRMAKÇI
		8	REGULARIZATION SENSITIVITY OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES ON THE OCTMNIST BENCHMARK	Asst. Prof. Dr. İsmail IRMAKÇI
			HYBRID META-HEURISTIC FEATURE SELECTION FOR RESNET101-BASED OLIVE PEACOCK EYE DISEASE DETECTION	Dr. Cumali TÜRKMENOĞLU Ar-Ge Müdürü, Murat In

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Res. Asst. Ender Can YAKAR**	1	EFFECT OF NANOSILICA REINFORCEMENT ON THE MICROHARDNESS, DENSITY, AND MICROSTRUCTURES OF EPOXY RESIN COMPOSITES	Mikail Aslan
		2	EFFECT OF MICROSIZED MGO REINFORCEMENT ON THE MICROHARDNESS, DENSITY, AND MICROSTRUCTURES OF EPOXY RESIN COMPOSITES	Mikail Aslan
		3	ASSESSMENT OF EXPERIMENTAL VARIABLES IN FIBRE LASER POLISHING OF TI6AL4V ALLOY UTILISING COMSOL SIMULATION	Res. Asst. Ender Can YAKAR Prof. Sinan FİDAN Prof. Satılmış ÜRGÜN Prof. Mustafa Özgür BORA
		4	THERMAL MODELLING OF LASER ABLATION GEOMETRY AND SURFACE ROUGHNESS ON TI6Al4V USING COMSOL MULTIPHYSICS	Res. Asst. Ender Can YAKAR Prof. Sinan FİDAN Prof. Satılmış ÜRGÜN Prof. Mustafa Özgür BORA
		5	STRUCTURAL and MORPHOLOGICAL PROPERTIES of Fe 3 O 4 NANOPOWDERS	Öğr. Gör. Tarık BAYDAR Doç. Dr. Naim ASLAN Prof. Dr. Hüseyin ERTAP Prof. Dr. Seydi DOĞAN
		6	EFFECT OF SURFACE PURGING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE/METAL HYBRID SYSTEMS	Y.L. Öğrenci, Mustafa ÖZDEMİR Doç. Dr., S. Bahar BAŞTÜRK
		7		
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr. Demet DÖNMEZ**	1	E-TİCARET PLATFORMLARININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ VE BİBLİYOMETRİK ANALİZ İLE SEÇİMİ	Aslı GÜLER Doç. Dr. Ayten YILMAZ YALÇINER
		2	HAVACILIK SEKTÖRÜNDE UÇUŞ BAZLI KARBON DİOKSİT EMİSYONLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK VERİ TABANLI BİR KARAR DESTEK MODELİ	Huzeyfe ÖZSOY Doç. Dr. Ayten YILMAZ YALÇINER
		3	AÇIK ÇALIŞMA VERİLERİYLE ÖZ-YÖNETİMİN ÖLÇÜMÜ: UZAKTAN VE DİJİTAL ÇALIŞMADA OTONOMİ, İZLEME VE DAVRANIŞSAL UYUMUN NİCEL ANALİZİ	Doç. Dr. Demet DÖNMEZ
		4	AÇIK SOSYAL POLİTİKA VERİLERİYLE ÖZ-DÜZENLEME SÖYLEMİ: AVRUPA'DA BİREYSEL SORUMLULUK, SOSYAL KORUMA VE DEVLET BEKLENTİSİ İLİŞKİSİ	Doç. Dr. Demet DÖNMEZ
		5	ALGORİTMİK ŞEFFAFLIK Mİ, BÜROKRATİK SESSİZLİK Mİ? AVRUPA BİRLİĞİ KOMİSYONU'NDA KARAR ALMA SÜREÇLERİNİN AÇIK VERİYLE HARİTALANMASI	Doç. Dr. Soner AKIN
		6	GÖRÜNÜR TEMSİL, ÖLÇÜLEBİLİR ETKİ: AVRUPA PARLAMENTOSU'NDA SİYASAL GÜCÜN NİCEL ANATOMİSİ	Doç. Dr. Soner AKIN
		7	ÜRÜN DEĞİŞİKLİKLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİMİ: PLM- KONFİGÜRASYON-DÖNGÜSEL EKONOMİ ÜÇGENİ	Gökhan TOLUK
		8	ÖZBEKİSTAN MOBİLYA ENDÜSTRİSİNİN EKONOMİK POTANSİYELİ VE GELECEĞİ	Dr. Öğr. Üyesi Belgin ŞEKER HIRÇIN
		9	TÜRKMENİSTAN MOBİLYA SEKTÖRÜ- EKONOMİ, DIŞ TİCARET VE GİRİŞİMCİLİK	Gulzira GULMURATOVA Dr. Öğr. Üyesi Belgin ŞEKER HIRÇIN
		10	DIGITALIZATION IN LABOR MARKETS AND THE TRANSFORMATION OF WORK: A THEORETICAL FRAMEWORK	Asistant Profesor Dr. Cihan Serhat Kart Lecturer Dr. Evin Miser
		11	THE DIALECTICAL RELATIONSHIP BETWEEN ECONOMIC GROWTH AND INCOME INEQUALITY: A THEORETICAL AND STRUCTURAL ANALYSIS FROM THE CLASSICAL PARADIGM TO MODERN APPROACHES	Asistant Profesor Dr. Cihan Serhat Kart Lecturer Dr. Evin Miser
		12	SOSYAL GÜVENLİK VE BAKIM REJİMİ KADIN İSTİHDAMINI ŞEKİLLENDİRİR Mİ? EUROSTAT AÇIK VERİLERİYLE NUTS-2 DÜZEYİNDE MEKÂNSAL PANEL ANALİZ	Prof. Dr. Mehmet DURUEL Mehmet MUTLU
		13	SOSYAL GÜVENLİK HARCAMALARININ YENİDEN DAĞITIM ETKİNLİĞİ: OECD SOCX VE SWIID AÇIK VERİLERİYLE BİLEŞİM-TEMELLİ PANEL ANALİZİ	Prof. Dr. Mehmet DURUEL Mehmet MUTLU

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU**	1	KARS İLİNDE SÜT SIĞIRI İŞLETMELERİNDE YETİŞTİRİCİLERİN ÖĞRENİM DURUMUNUN KOLOSTRUM YÖNETİMİ, SÜTTEN KESME YAŞI VE SAĞIM UYGULAMALARINA ETKİSİ	Veteriner Hekim Bahar GÜLBUDAK Doç. Dr. Buket BOĞA KURU
		2	SÜT SIĞIRI İŞLETMELERİNDE YETİŞTİRİCİ YAŞI KOLOSTRUM YÖNETİMİNİ, SÜTTEN KESME YAŞINI VE SAĞIM UYGULAMALARINI ETKİLER Mİ? KARS İLİ ÖRNEĞİ	Veteriner Hekim Bahar GÜLBUDAK Doç. Dr. Buket BOĞA KURU
		3	İNFLAMATUVAR BAĞIRSAK HASTALIKLARINDA OKSİDATİF STRES BELİRTEÇLERİ	Veteriner Hekim Özge AVŞAR Arş.Gör.Haceli ÖCAL Dr.Öğr.Üyesi Ali ŞENOL
		4	AVIAN CORONAVIRUSES	Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU
		5	PARVOVIRIDAE	Duygu ARSLANHAN Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU
		6	RATLARDA KİMYASAL KARSİNOJENLERLE İNDÜKLENEN ORGAN SPESİFİK KANSER MODELLERİ	Öğr. Gör. Muhammed Zahid ARI Prof.Dr.Miyase ÇINAR Dr.Öğr.Üyesi Ali ŞENOL
		7	THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON INFECTIOUS DISEASES IN GREY PARROTS (PSITTACUS ERITHACUS)	Mustafa Necati MUZ, Ebu Derda Günay, Dilek MUZ, Emine İrem DEVECİ, İpek Nur KARAKUŞ,
		8	MEDIBEES EU PROJECT: CLIMATE CHANGE AND THE FUTURE OF MEDITERRANEAN BEEKEEPING	Mustafa Necati Muz Raquel Martín-Hernández Antonio Nanetti Alice Pinto Marion Zammit Mangion Chadi Hosri Noureddine Adjlane Banan Al Shagoor Dilek MUZ
			LABORATUVAR HAYVANLARINDA DENEYSEL TÜMÖR MODELLERİ	Merve Bişkin Türkmen

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Dr. Öğr. Üyesi Merve Nihan ERTEKİN KAYA**	1	PERSONALIZED LEARNING IN INSTRUMENTAL EDUCATION WITH GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE: AN EXAMINATION OF APPLICATIONS FOR INSTRUMENT LEARNING AND PERFORMANCE ANALYSIS	Dr. Öğr. Üyesi Merve Nihan ERTEKİN KAYA
		2	GRADUATE MUSIC EDUCATION STUDENTS' PERCEPTIONS OF SCIENTIFIC RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS	Dr. Öğr. Üyesi Merve Nihan ERTEKİN KAYA
		3	THE THREE PIONEERING FIGURES OF MODERN MUSICOLOGY: ADORNO, KERMAN AND DAHLHAUS	Asst. Prof. Dr. İsmail GÜNGÖR
		4	TEMSİL, DÖNÜŞÜM VE YORUM: GOETHE'NİN FAUST METNİYLE GOUNOD'NUN FAUST OPERASI ARASINDA DİSİPLİNLERARASI ANALİZ	Can Reha GÜN
		5	BIBLIOMETRIC EVALUATION OF TURKISH MUSIC STUDIES ON THE WEB OF SCIENCE DATABASE	Okan Umut AKSEL
		6	TRENDS IN METAPHOR RESEARCH WITHIN THE FIELD OF MUSIC: AN EXAMINATION OF PUBLICATIONS FROM 2023–2025	Yüksek Lisans Öğrencisi, Zeynep VARDAR Dr. Öğr. Üyesi, Ezgi ERTEK-BABAÇ
		7	ŞİLE MANAV TÜRKLERİNİN MÜZİK GELENEĞİNDE MÜZİK ALETLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE YERİ	Doç. Dr. Leyla GAFAROVA Yüksek Lisans Öğrencisi Sinem Perihan CAN
		8	MÜZİK ENDÜSTRİSİNDE İŞ BİRLİĞİ AĞLARI: SOSYAL AĞ ANALİZİ PERSPEKTİFİNDEN BİR LİTERATÜR TARAMASI	Arş. Gör. Aslı KILIÇ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Sofia Kotsi**	1	METAPHORICAL CONCEPTUALIZATIONS OF TIME IN PERSIAN POETRY FROM THE SAFAVID ERA	Prof. Dr. Reza Hosseini, Soraya Ahmadi, Ali Tavakoli
		2	PRAGMATIC FUNCTIONS OF INDIRECT SPEECH ACTS IN CONTEMPORARY IRANIAN POLITICAL DISCOURSE	Dr. Mina Karimi, Assoc. Prof. Dr. Farhad Jafari
		3	DISCOURSE ANALYSIS OF GENDER REPRESENTATIONS IN POST-REVOLUTIONARY IRANIAN CINEMA	Fatemeh Rahmani, Dr. Babak Salehi, Neda Zamani
		4	COGNITIVE LINGUISTICS APPROACH TO COLOR TERMINOLOGY IN CLASSICAL PERSIAN TEXTS	Assoc. Prof. Dr. Shahram Nemati
		5	POLYSEMY AND CONTEXTUAL DISAMBIGUATION IN MODERN GREEK POLITICAL METAPHORS	Prof. Dr. Eleni Papadopoulos, Dr. Kostas Dimitriou
		6	INTERTEXTUALITY IN BYZANTINE RHETORICAL TEXTS: A DISCOURSE-SEMANTIC PERSPECTIVE	Maria Stavropoulou, Assoc. Prof. Dr. Nikos Georgiadis, Theo Angelakis
		7	PRAGMATICS OF IRONY IN CONTEMPORARY GREEK SOCIAL MEDIA DISCOURSE	Dr. Sofia Kotsi
		8	COGNITIVE METAPHORS OF EMOTION IN SANSKRIT PHILOSOPHICAL TEXTS	Prof. Dr. Arjun Sharma, Priya Venkatesh
		9	DISCOURSE MARKERS AND CONVERSATIONAL STRUCTURE IN BILINGUAL HINDI-ENGLISH INDIAN PARLIAMENTARY DEBATES	Dr. Neha Kapoor, Anjali Rao

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Maria Economou,**	1	IRANIAN FOREIGN POLICY TOWARD CENTRAL ASIA POST-2015 NUCLEAR AGREEMENT IMPLICATIONS	Prof. Dr. Reza Hosseini, Ali Mahmoudi, Dr. Sara Karim
		2	DOMESTIC POLITICS AND IRAN'S REGIONAL SECURITY DOCTRINE IN THE SYRIAN CONFLICT	Assoc. Prof. Dr. Fatima Rahimi, Hossein Javadi
		3	WOMEN'S POLITICAL PARTICIPATION AND GENDER POLICY REFORMS IN CONTEMPORARY IRAN	Dr. Leila Ahmadi, Neda Sharifi, Assis. Prof. Dr. Parisa Ebrahimi
		4	ENERGY DIPLOMACY AND IRAN'S PETROLEUM EXPORT STRATEGIES UNDER SANCTIONS REGIMES	Prof. Dr. Mohammad Jafari, Zahra Khalili
		5	GREEK-TURKISH MARITIME DISPUTES AND EU COMMON FOREIGN POLICY COHERENCE CHALLENGES	Assoc. Prof. Dr. Dimitrios Pappas, Eleni Stavrou, Dr. Kostas Nikolaou
		6	EUROPEAN INTEGRATION IMPACTS ON GREEK FISCAL SOVEREIGNTY POST-2010 DEBT CRISIS	Dr. Maria Economou, Antonis Papadopoulos
		7	MIGRATION POLICY DILEMMAS AND NATIONAL SECURITY FRAMINGS IN CONTEMPORARY GREECE	Dr. Sophia Karagianni, Nikos Theodorou, Assis. Prof. Dr. Yiorgos Lyras
		8	CLIMATE CHANGE ADAPTATION GOVERNANCE AND FEDERALISM CHALLENGES IN INDIA	Prof. Dr. Arjun Mehra, Priya Venkatesh, Dr. Sanjay Rao
		9	DIGITAL GOVERNANCE REFORMS AND ELECTION MANAGEMENT INNOVATIONS IN INDIA	Assoc. Prof. Dr. Neha Kapoor, Vikram Desai

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Maria Georgiou**	1	LINGUISTIC DIMENSIONS OF PERSIAN CODE-SWITCHING PATTERNS IN TEHRAN BILINGUAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Reza Ahmadi, Soraya Mahmoudi, Ali Karimi
		2	PHONOLOGICAL ADAPTATION STRATEGIES IN LOANWORDS FROM ARABIC TO MODERN PERSIAN	Dr. Fatemeh Hosseini, Assoc. Prof. Dr. Mohammad Jafari
		3	DISCOURSE MARKERS AND CONVERSATIONAL FLOWS IN PERSIAN ACADEMIC ORAL PRESENTATIONS	Leila Bahrami, Dr. Hassan Rezaei, Neda Sharifi
		4	SYNTACTIC COMPLEXITY MEASURES IN PERSIAN EFL WRITING DEVELOPMENT TRAJECTORIES	Assis. Prof. Dr. Mina Tavakoli, Parisa Ghasemi
		5	BILINGUAL EDUCATION POLICY IMPLEMENTATION CHALLENGES IN GREEK-THRACIOTURKISH COMMUNITIES	Prof. Dr. Eleni Papadopoulos, Dr. Kostas Dimitriadis
		6	DIALECTAL VARIATION IN CYPRIOT GREEK PHONOLOGY AND ITS IMPLICATIONS FOR LANGUAGE TEACHING	Assoc. Prof. Dr. Maria Georgiou, Nikos Stavrou
		7	PRAGMATIC FUNCTIONS OF GREEK DISCOURSE PARTICLE "RE" IN SPONTANEOUS INTERACTION	Dr. Sophia Antoniou, Panagiotis Lazos, Katerina Tsoulaki
		8	LANGUAGE ATTITUDES TOWARD HINDI-ENGLISH CODE-MIXING IN URBAN DELHI YOUTH SPEECH	Prof. Dr. Anjali Gupta, Rahul Sharma
		9	TAMIL-SANSKRIT PRAGMATIC BORROWINGS IN CLASSICAL DRVIDIAN DISCOURSE STRUCTURES	Dr. Priya Venkatesh, Assoc. Prof. Dr. Karthik Raman, Lakshmi Nair

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Eleni Papadopoulos,**	1	RITUAL PRACTICES AND GENDER ROLES IN CONTEMPORARY ZOROASTRIAN COMMUNITIES OF YAZD PROVINCE	Prof. Dr. Reza Ahmadi, Soraya Mahmoudi, Ali Karimi
		2	NOMADIC PASTORALISM TRANSFORMATIONS AMONG BAKHTIARI TRIBES IN POST-REVOLUTIONARY IRAN	Dr. Fatemeh Hosseini, Assoc. Prof. Dr. Mehdi Rezaei
		3	URBAN KURDISH IDENTITY NEGOTIATIONS THROUGH MUSIC AND FESTIVALS IN MAHABAD CITY	Leila Bahrami, Dr. Hassan Tavakoli, Nima Jafari
		4	SHIITE PILGRIMAGE ECONOMIES AND SOCIAL MOBILITY IN MASHHAD'S HOLY SHRINE COMPLEX	Prof. Dr. Zahra Mahmoudi, Saeed Alavi
		5	MEDITERRANEAN ISLAND REFUGEE INTEGRATION THROUGH CULINARY EXCHANGE IN LESVOS COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Eleni Papadopoulos, Dr. Kostas Nikolaidis
		6	BYZANTINE RELIGIOUS ICONOGRAPHY AND CONTEMPORARY ORTHODOX IDENTITY IN THESSALONIKI NEIGHBORHOODS	Dr. Maria Stavropoulou, Nikos Georgiadis, Assis. Prof. Dr. Anna Koukidou
		7	RURAL AGROTOURISM AND HERITAGE REVITALIZATION AMONG CRETE MOUNTAIN VILLAGES	Prof. Dr. Dimitris Tsoukalas, Sofia Petraki
		8	BEDOUIN GENDER DYNAMICS AND MOBILITY PATTERNS IN SAUDI ARABIA'S NORTHERN PROVINCES	Dr. Fatima Al-Ghamdi, Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Mansour
		9	HAJ JOURNEYS AND TRANSNATIONAL PILGRIM KINSHIP NETWORKS FROM THE HEJAZ REGION	Prof. Dr. Nasser Al-Qahtani, Aisha Rahman
		10	AYNU ETHNIC REVITALIZATION THROUGH BEAR FESTIVALS IN HOKKAIDO INDIGENOUS COMMUNITIES	Dr. Hiroshi Tanaka, Assoc. Prof. Dr. Yuko Sato, Kenji Nakamura
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assis. Prof. Dr. Amel Harzi**	1	URBAN SHRINE VISITATION AND SPIRIT MEDIUMSHIP AMONG TOKYO SALARYMEN COMMUNITIES	Prof. Dr. Akihiro Mori, Sakura Ikeda
		2	DIGITAL MEDIA LITERACY AND FAKE NEWS DISSEMINATION AMONG KAZAKHSTANI UNIVERSITY STUDENTS	Prof. Dr. Aizhan Kulanova, Yerbolat Nurgaliyev, Dr. Madina Sarsenova
		3	SOCIAL MEDIA'S ROLE IN SHAPING YOUTH POLITICAL ACTIVISM DURING KAZAKHSTANI PROTESTS	Assoc. Prof. Dr. Ruslan Bekov, Aidana Zhumagaliyeva
		4	CROSS-CULTURAL COMMUNICATION CHALLENGES IN MULTILINGUAL KAZAKHSTANI WORKPLACES	Dr. Gulnara Tolegenova, Nurlan Abildayev, Assis. Prof. Dr. Zhanna Kassenova
		5	INFLUENCER MARKETING STRATEGIES AND CONSUMER TRUST IN KAZAKHSTANI E-COMMERCE PLATFORMS	Prof. Dr. Erlan Mukhametov, Dana Sadykova
		6	ARABIC DIALECTAL VARIATIONS AND THEIR IMPACT ON DIGITAL COMMUNICATION IN TUNISIAN SOCIAL NETWORKS	Assoc. Prof. Dr. Sami Ben Romdhane, Nadia Kallel
		7	PUBLIC RELATIONS STRATEGIES DURING TUNISIA'S POST-REVOLUTIONARY POLITICAL CRISES	Dr. Lilia Trabelsi, Prof. Dr. Hassen Zghal, Meriem Jrad
		8	MIGRANT MEDIA CONSUMPTION PATTERNS AND INTEGRATION CHALLENGES IN TUNISIAN URBAN COMMUNITIES	Assis. Prof. Dr. Amel Harzi
		9	DIGITAL STORYTELLING AND CULTURAL PRESERVATION AMONG MOROCCAN BERBER COMMUNITIES	Dr. Fatima Zahra El Amrani, Assoc. Prof. Dr. Youssef Belkadi
		10	CORPORATE COMMUNICATION STRATEGIES ADDRESSING CLIMATE CHANGE IN MOROCCAN SUSTAINABLE TOURISM	Prof. Dr. Hassan Derfoufi, Amina Naji, Karim El Fassi
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Fatemeh Hosseini,	1	DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES FOR SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES IN AZERBAIJAN'S OIL DEPENDENT ECONOMY	Prof. Dr. Elnur Mammadov, Aysel Karimova, Farid Huseynov
		2	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN PRACTICES AND FIRM PERFORMANCE IN AZERBAIJANI AGRICULTURE	Assoc. Prof. Dr. Nigar Aliyeva, Rashad Ibrahimov
		3	BLOCKCHAIN TECHNOLOGY ADOPTION BARRIERS IN AZERBAIJAN'S FINANCIAL SERVICES SECTOR	Dr. Leyla Hasanova, Elvin Gurbanov, Zara Mammadova
		4	CORPORATE GOVERNANCE REFORMS AND INVESTOR CONFIDENCE IN BAKU STOCK EXCHANGE	Kamran Abbasov, Prof. Dr. Sevinc Nuriyeva
		5	ISLAMIC FINANCE INNOVATIONS AND ECONOMIC RESILIENCE IN IRANIAN SMEs	Assoc. Prof. Dr. Reza Ahmadi, Soraya Mahmoudi, Ali Karimi
		6	CIRCULAR ECONOMY MODELS FOR TEXTILE INDUSTRY SUSTAINABILITY IN IRAN	Dr. Fatemeh Hosseini, Mohammad Jafari
		7	AGILE METHODOLOGIES ADOPTION IN IRANIAN SOFTWARE DEVELOPMENT FIRMS	Prof. Dr. Hassan Rezaei, Leila Bahrami
		8	FAMILY BUSINESS SUCCESSION PLANNING IN NORTH MACEDONIA'S MANUFACTURING SECTOR	Assoc. Prof. Dr. Nikola Popovski, Elena Ivanovska
		9	TOURISM DIGITAL MARKETING STRATEGIES POST-COVID RECOVERY IN NORTH MACEDONIA	Dr. Marija Petrovska, Goran Trajkovski, Assis. Prof. Dr. Biljana Angelova
		10	ESG INVESTING FRAMEWORKS FOR EMERGING EUROPEAN CAPITAL MARKETS: NORTH MACEDONIA CASE	Saso Kostovski, Prof. Dr. Daniela Trbovska
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Prof. Dr. Mina Sharifi,**	1	STRATEGIC ALLIANCES BETWEEN AZERBAIJANI OIL COMPANIES AND INTERNATIONAL ENERGY GIANTS	Prof. Dr. Vugar Aliyev, Sevda Mirzayeva, Rauf Gahramanov
		2	FINTECH DISRUPTION AND TRADITIONAL BANKING TRANSFORMATION IN AZERBAIJAN	Assoc. Prof. Dr. Gunel Ismayilova, Elshan Nuriyev
		3	BRAND MANAGEMENT STRATEGIES FOR AZERBAIJANI EXPORTS IN COMPETITIVE EMERGING MARKETS	Nigar Sadigova, Prof. Dr. Orkhan Nadirov
		4	CROWDFUNDING PLATFORMS AND ENTREPRENEURIAL ECOSYSTEM DEVELOPMENT IN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Babak Mehregan, Neda Karimi, Saeed Ahmadi
		5	SUPPLY CHAIN RESILIENCE STRATEGIES FOR IRANIAN AUTOMOTIVE INDUSTRY UNDER SANCTIONS	Dr. Parisa Hosseini, Amir Rezaei
		6	WOMEN ENTREPRENEURSHIP IN IRAN'S HANDICRAFT SECTOR: OVERCOMING INSTITUTIONAL BARRIERS	Prof. Dr. Mina Sharifi, Zahra Mahmoudi
		7	DIGITAL MARKETING TRANSFORMATION IN NORTH MACEDONIA'S AGROFOOD EXPORTS	Assoc. Prof. Dr. Viktorija Stojkovska, Marko Petrovski
		8	SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT MODELS FOR OHRID LAKE UNESCO HERITAGE SITE	Dr. Ana Blazevska, Nikola Jovanovski, Elena Risteska
		9	BLOCKCHAIN APPLICATIONS IN NORTH MACEDONIA'S WINE INDUSTRY TRACEABILITY	Prof. Dr. Dejan Canev, Sara Kostovska, Assis. Prof. Dr. Filip Temelkov

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Theresa Lim,**	1	THE ROLE OF COLLECTIVISTIC FAMILY STRUCTURES IN SHAPING ADOLESCENT IDENTITY FORMATION AMONG IRANIAN URBAN YOUTH	Prof. Dr. Reza Mohammadi, Sara Hosseini, Ali Karimi
		2	MINDFULNESS INTERVENTIONS INCORPORATING ISLAMIC CONTEMPLATION PRACTICES FOR ANXIETY REDUCTION IN IRANIAN UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Fatemeh Ahmadi, Dr. Hassan Rezaei
		3	WORKPLACE GENDER DYNAMICS AND PSYCHOLOGICAL DISTRESS AMONG FEMALE PROFESSIONALS IN TEHRAN CORPORATE SETTINGS	Leila Jafari, Nima Bahrami, Prof. Dr. Zahra Mahmoudi
		4	RESILIENCE FACTORS AMONG IRANIAN REFUGEE CHILDREN DISPLACED BY ECONOMIC MIGRATION TO NEIGHBORING COUNTRIES	Dr. Mehran Tavakoli, Assis. Prof. Dr. Yasaman Sharifi
		5	CULTURAL ADAPTATIONS OF COGNITIVE BEHAVIORAL THERAPY FOR DEPRESSION AMONG FILIPINO MIGRANT WORKERS IN METRO MANILA	Prof. Dr. Maria Santos, Dr. Jose Rizalino, Ana Cruz
		6	SOCIAL MEDIA INFLUENCE ON BODY IMAGE DISTURBANCE AMONG FILIPINO ADOLESCENT GIRLS IN URBAN POVERTY SETTINGS	Assoc. Prof. Dr. Theresa Lim, Ramon Dela Cruz
		7	TRAUMA-INFORMED SCHOOL COUNSELING FOR CHILDREN AFFECTED BY PHILIPPINE NATURAL DISASTERS	Dr. Elena Vargas, Mark Anthony Reyes, Sofia Mendoza
		8	WORKPLACE PSYCHOLOGICAL SAFETY AND EMPLOYEE VOICE BEHAVIOR IN OMANI OIL AND GAS SECTOR	Prof. Dr. Ahmed Al-Harthi, Fatima Al-Maskari
		9	PARENTING STYLES AND ACADEMIC RESILIENCE AMONG OMANI BEDOUIN HERITAGE STUDENTS IN URBAN SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Busaidi, Dr. Noor Al-Harthy, Salim Al-Mahrooqi
		10	MIGRATION STRESS AND COPING STRATEGIES AMONG EXPATRIATE COMMUNITIES IN MUSCAT WORK ENVIRONMENTS	Layla Al-Rashidi, Prof. Dr. Tariq Al-Ghanboosi
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra El Amrani,**	1	YORUBA TEXTILE TRADITIONS AND CONTEMPORARY FASHION IDENTITY IN NIGERIAN URBAN CENTERS	Prof. Dr. Amina Okonkwo, Chidi Eze, Ngozi Ude
		2	NOK TERRACOTTA SCULPTURE INFLUENCES ON CONTEMPORARY NIGERIAN CERAMIC ART PRACTICES	Assoc. Prof. Dr. Emeka Nwosu
		3	MASQUERADES AND PERFORMANCE ART IN POSTCOLONIAL IDENTITY EXPRESSION AMONG IGBO COMMUNITIES	Dr. Ifeoma Okoro, Obi Nwankwo, Chioma Adebayo
		4	CALABAR CARNIVAL AS URBAN CULTURAL RESISTANCE AND TOURISM DEVELOPMENT STRATEGY	Prof. Dr. Bassey Ekanem, Ekaette Udoh
		5	BERBER ORNAMENTAL GEOMETRY IN CONTEMPORARY MOROCCAN CALLIGRAPHY PRACTICES	Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra El Amrani, Hassan Bouachrine
		6	GN AWA MUSIC TRADITIONAL INFLUENCES ON MODERN MOROCCAN FUSION GENRES	Dr. Aicha Lmrabet, Karim El Fassi
		7	MARABOUTIC PORTRAITURE AND PHOTOGRAPHIC INNOVATION IN 20TH-CENTURY MOROCCAN STUDIO PRACTICE	Youssef Bennani, Prof. Dr. Nadia Cherkaoui
		8	MAASAI BEADWORK EVOLUTION AND CONTEMPORARY KENYAN JEWELRY DESIGN INNOVATIONS	Assoc. Prof. Dr. Jepchumba Kiptoo, Naserian ole Lekishon
		9	LUKASA MEMORY BOARDS AND DIGITAL ARCHIVING OF LUBA COSMOLOGY IN CONTEMPORARY ART	Dr. Wanjiku Mwangi, Kofi Amankwaa
		10	KIKUYU SCULPTURE TRADITIONS AND CONTEMPORARY KENYAN PUBLIC ART INSTALLATIONS	Prof. Dr. Muthoni Kariuki, Juma Omondi, Zawadi Mwikali
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Doç. Dr. Sait Yıldırım**	1	SOSYAL MEDYANIN ERGENLERDE AKRAN ZORBALIĞINA ETKİSİ	Doç. Dr. Sait Yıldırım Doç. Dr. Bahri Gür Doktora Öğrencisi Buket Bağrıyanık Yıldırım
		2	ALGORİTMALARIN GÖLGESİNDE BÜYÜMEK: ÇOCUKLARDA DİJİTAL BAĞIMLILIĞIN VE SOSYALLEŞME BİÇİMLERİNİN DÖNÜŞÜMÜ	Doç. Dr. Sait Yıldırım
		3	İklim Değişikliği Endişesi ile Psikolojik Sıkıntı Arasındaki İlişkide Algılanan Stres ve Duygu Düzenleme Güçlüğünün Aracı Rolü	Lisans Öğrencisi Asude Yalın Lisans Öğrencisi Melike Yalın Doç. Dr. Sümeyye Derin
		4	EBEVEYN DUYGUSAL ERİŞİLEBİLİRLİĞİN DUYGUSAL ZEKA BECERİLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ ÜZERİNE KAVRAMSAL BİR ÇALIŞMA	Psikolog BÜŞRA AYDOĞDU Dr. Öğr. Üyesi ALİYE ATEŞ ÖS
		5	THE MEDIATING ROLES OF ENERGY AND SELF-REGULATION IN THE RELATIONSHIP BETWEEN PERSEVERANCE AND STRESS RESILIENCE AMONG ADOLESCENTS: A PARALLEL MEDIATION ANALYSIS	Doç. Dr. Mehmet ŞATA Doç. Dr. Mahmut Sami KOYUNCU
		6	COLLABORATION PROFILES AND THEIR DETERMINANTS IN ADOLESCENTS: A LATENT PROFILE ANALYSIS AND MULTINOMIAL LOGISTIC REGRESSION APPROACH	Doç. Dr. Mehmet ŞATA Doç. Dr. Mahmut Sami KOYUNCU
		7	AYDINLIK ÜÇLÜ KİŞİLİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞMELERİ KAÇIRMA KORKUSU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE DAİR KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE	Psikolog, SERRA NUR AKGÜN
		8	ERGENLERDE SİBER OBSESİF TAKİP MAĞDURİYETİ: ANNE-BABA TUTUMU, DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLER VE SOSYAL MEDYA KULLANIM ALIŞKANLIKLARIYLA İLİŞKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Sedef MELEMEZ Prof. Dr. Hülya ERCAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Asst. Prof. Dr., Fatih TAKTAK**	1	COMPARATIVE PERSPECTIVES ON URBAN TRANSFORMATION: GLOBAL APPROACHES AND OUTCOMES ACROSS TEN COUNTRIES	Asst. Prof. Dr., Fatih TAKTAK
		2	BUILDING AMNESTY AND LAND USE GOVERNANCE: COMPARATIVE INSIGHTS WITH A FOCUS ON TURKEY	Asst. Prof. Dr., Fatih TAKTAK
		3	6 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİ SONRASINDA KİLİS VE HATAY'DA İLÇE BAZINDA NÜFUSUN MEKÂNSAL SÜREKLİLİĞİ: CBS VE WORLDPOP VERİLERİ ÜZERİNDEN BİR ANALİZ	Dr. Öğretim Üyesi Ceren YAĞCI
		4	AMSTERDAM SCHİPHOL HAVALİMANI VE ANKARA ESENBOĞA HAVALİMANI ÇEVRESİNİN KENTSEL GELİŞİMİNİN UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA ZAMANSAL ANALİZİ	Kübra BAŞ YOLCU Dr. Öğretim Üyesi Aycan Murat MARANGOZ
		5	KENTSEL YEŞİLLENDİRME YAKLAŞIMLARINDA DİKEY BAHÇELER: WEB OF SCİENCE TABANLI BİBLİYOMETRİK BİR ARAŞTIRMA	Öğr. Gör. Dr. İlhami AY Doç. Dr. Şefika ERGİN
		6	TEMATİK HARİTALAR BAĞLAMINDA KÜLTÜREL MİRAS ÇALIŞMALARININ GELİŞİMİ: WEB OF SCİENCE BİBLİYOMETRİK DEĞERLENDİRMESİ	Öğr. Gör. Dr. İlhami AY Doç. Dr. Şefika ERGİN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Prof. Dr. Muammer CENGİL**	1	International positions on the war on Gaza and its repercussions on societal stability and peace	Dr. Amira Ismail Muhammad Al-Ubaidi
		2	FIKHÎ AÇIDAN DÜNYEVİLEŞMENİN SOMUT TEZAHÜRLERİNE DAİR BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Taha YILMAZ
		3	MANEVİYATIN PSİKOLOJİK İYİ OLUŞ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: KÜLTÜRLERARASI BİR DEĞERLENDİRME	Prof. Dr. Muammer CENGİL
		4	DİNSEL KİMLİK VE SOSYAL AİDİYET: PSİKOLOJİK BİR İNCELEME	Prof. Dr. Muammer CENGİL
		5	TEŞBİHLERİ AÇISINDAN YAHYÂ B. SELÂME EL-HASKEFÎ'NİN ŞİİRLERİ	Doç. Dr. Halil AKÇAY Yahya AKÇAY
		6	KUR'AN'IN AİLE BİRLİĞİNİN KORUNMASINA YÖNELİK BOŞANMA ÖNCESİ HAKEMLİK ÖNERİSİ	Doç. Dr. Mustafa TUNÇER
		7	KUR'ÂN PERSPEKTİFİNDEN İNSANIN YERYÜZÜNDE HALİFE KILINMASI	Doç. Dr. Mustafa TUNÇER
		8	The Possibility of a Psychological Exegesis of the Qur'an: A Nafs-Centered, Discourse-Analytical Approach	Tuğçe GÜNEŞ Doç. Dr. Ramazan ŞAHAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Erkan DENK**	1	SİVAS HEALTH TOURISM SWOT ANALYSIS	Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem YEL
		2	ETHICAL ISSUES OF MASS TOURISM AND ITS DAMAGES TO THE ENVIRONMENT AND CULTURAL HERITAGE	Yüksek Lisans Öğrencisi Özge SARAÇOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Fatma EBAN
		3	FAMILY FRIENDLY TOURİSM DESTİNATİONS AND TOURİSM BUSİNESSES	Doç. Dr. Sine ERDOĞAN MERCAN Sinem AYSU
		4	LEISURE MANAGEMENT IN FAMILIES FROM THE PERSPECTIVE OF DIGITAL LIFE SKILLS	Ömer TUFAN Doç. Dr. Sine ERDOĞAN MERCAN
		5	GASTRONOMİK KİMLİĞİN GÖRSEL TEMSİLİ: SEÇİLMİŞ ÜLKE BANKNOTLARI ÜZERİNE BİR ANALİZ	Dr. Öğr Üyesi Nilgün KARAMAN Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa Tolgay ERTAN
		6	REGIONAL DISTRIBUTION OF GEOGRAPHICAL INDICATIONS IN TÜRKİYE AND CLASSIFICATION ACCORDING TO PRODUCT GROUPS	Doç. Dr. Erkan DENK
		7	A RESEARCH ON BALIKESİR GEOGRAPHİCAL INDICATED PRODUCTS AND THEIR EVALUATION IN THE DEVELOPMENT OF REGIONAL TOURİSM	Lisans Öğrencisi Nimet TURAN Lisans Öğrencisi İklim ÇELİK Doç. Dr. Gizem ÖZGÜREL
		8	WORLD FEDERATION OF TOURIST GUIDE ASSOCIATIONS (WFTGA) RESMİ INSTAGRAM HESABININ İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Hatice Nur KESİMAL Dr. Öğr. Üyesi Hasret ULUSOY MUTLU

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Mevlüt ÇELEBİ**	1	THE IMPACT OF WORLD WAR II ON MILITARY AND CIVILIAN HEALTH SERVICES: MEDICAL INNOVATIONS, PUBLIC HEALTH TRANSFORMATION, AND CONTRIBUTIONS TO THE INSTITUTIONALIZATION OF MODERN MEDICINE	Dr. Özlem KARAPINAR GÖK
		2	STRATEGIC ORIENTATIONS İN TURKISH FOREIGN POLICY: THE HISTORICAL, POLITICAL, AND REGIONAL IMPLICATIONS OF THE BAGHDAD PACT	Dr. Özlem KARAPINAR GÖK
		3	MUSSOLINI'NİN TÜRKİYE'Yİ İŞGAL PLANI	Prof. Dr. Mevlüt ÇELEBİ
		4	RUMELİ'YE VEDA EDERKEN SULTAN REŞAD'IN KOSOVA'YI ZİYARETİ	Prof. Dr. Mevlüt ÇELEBİ
		5	A COMPARİSON OF CERTAİN KAZAS AND NAHİYES İN THE PROVİNCE OF ALEPPO ACCORDİNG TO THE AVÂRIZ-HÂNE REGİSTER NO. 678	Prof. Dr. Ahmet GÜNDÜZ
		6	THE CONTENT AND SOURCE VALUE OF THE AVÂRIZ-HÂNE REGISTER NUMBERED MAD 678	Prof. Dr. Ahmet GÜNDÜZ
		7	THE ROLE AND INFLUENCE OF GEORGIAN WOMEN IN THE HISTORICAL PROCESS: FROM RELIGIOUS LEADERS TO INTER-IMPERIAL POLITICAL FIGURES	Öğr. Gör. Dr. Hatice ERTÜRK
		8	MOĞOLLARDA ELÇİ KABULÜ	Mehmet İSTEMİHAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Filiz EROĞLU**	1	E-TİCARETTE KAMPANYA PERFORMANSININ ÇOK BOYUTLU ANALİZİ: ROI, SEGMENTASYON VE ZAMANLAMA OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Doç. Dr. Pınar ÖZKAN Prof. Dr. İpek DEVECİ KOCAKOÇ
		2	EVCİL HAYVAN GİYİM ENDÜSTRİSİNDE YOUTUBE İÇERİK STRATEJİLERİ: İÇERİK UZUNLUĞU VE REKLAM YATIRIMLARININ ETKİLEŞİM KALİTESİ ÜZERİNE BİR ANALİZ	Doç. Dr. Pınar ÖZKAN Prof. Dr. İpek DEVECİ KOCAKOÇ
		3	BOP'TA DİJİTALLEŞME VE PAZARLAMA KARMASININ YENİDEN YAPILANDIRILMASI: 8A TEMELLİ BİR YAKLAŞIM	Arş. Gör. Dr. Sevi BALOĞLU SEVİNÇ
		4	AN EXPLORATORY RESEARCH ON YOUNG CONSUMERS' SOFT SAVING TENDENCIES	Assoc. Prof. Dr. Filiz EROĞLU
		5	DEVELOPING THE SERVICE BRAND LOVE SCALE: A CONTEXT-SPECIFIC INSTRUMENT FOR EMOTIONAL ATTACHMENT IN SERVICE SETTINGS	Assist. Prof. Dr. Pınar Alyar
		6	ENDÜSTRİ 4.0 SÜRECİNDE AKILLI ÜRÜNLER VE TÜKETİCİ ETKİLEŞİMİ: KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE	Arş. Gör. Dr. Sinem SARGIN
		7	TÜKETİCİLERİN YOUTUBE REKLAM VİDEOLARINDAKİ DUYGU ÇAĞRIŞIMLARINA VERDİKLERİ TEPKİLER: BİR İÇERİK ANALİZİ	Öğrt. Gör.Dr. Pınar COŞKUN
		8	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DIGITAL MARKETING: TRANSITION FROM SEARCH ENGINE OPTIMIZATION (SEO) TO GENERATIVE ENGINE OPTIMIZATION (GEO)	Muhammed Mustafa GÖKTAŞ Hatice KÖSE Prof. Dr. Ahmet GÜRBÜZ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Öğr. Gör. Gizem TÜRE**	1	ALMANYA'DAKİ TÜRK GÖÇMENLERİN İKİNCİ DİL EDİNİM SÜREÇLERİNİN TÜRKİYE'DEKİ SURİYELİ ÇOCUKLARIN TÜRKÇE EDİNİM SÜRECİ İLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: POLİTİKALAR VE ÖNERİLER	Doktora Öğrencisi Ahmet CİHANGİR Doç. Dr. Demet KARDAŞ
		2	YABANCI DİL OLARAK TÜRKÇE ÖĞRETİMİN ALANINDA YAPILAN TEZLERİN DİL BİLGİSİ AÇISINDAN META-SENTEZ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ	Doktora Öğrencisi Ahmet CİHANGİR Doç. Dr. Demet KARDAŞ
		3	Mobile-Assisted Language Learning (MALL) in Türkiye's K–12 English Education: A PRISMA-Based Systematic Review (2020–2025)	Govher YAZDURDYYEVA Fidel ÇAKMAK
		4	A COGNITIVE COMPARISON OF READING COMPREHENSION QUESTIONS IN TEACHING TURKISH AS A FOREIGN LANGUAGE: A STUDY ON A2 AND B1 LEVELS	Öğr. Gör, ZEYNEP ARICI Öğr. Gör. Gizem TÜRE
		5	AN ANALYSIS OF VISUALS IN THE 5TH GRADE MIDDLE SCHOOL ENGLISH TEXTBOOK WITHIN THE CONTEXT OF INCLUSIVE EDUCATION	Graduate Student Ayşe YILMAZ
		6	İNGİLİZCE ÖĞRETİMİNDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARINA İLİŞKİN LİSE İNGİLİZCE ÖĞRETMENLERİNİN GÖRÜŞ VE ÖNERİLERİ	Prof. Dr. Necdet KONAN Sueda Zişan TÜRKÖZ
		7	CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR COMPARING ADVANTAGES OF NON-GAME-BASED LEARNING AND GAME-BASED LEARNING	Havva İrem TAŞDEMİR Zeynep ALTUNEL Fidel ÇAKMAK
		8	9 TH GRADE LISTENING SKILLS IN THE TÜRKIYE CENTURY MAARIF MODEL: A QUALITATIVE DOCUMENT ANALYSIS	Havva İrem Taşdemir Zeynep ALTUNEL Fidel ÇAKMAK

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Öğretim Üyesi Emine ERDOĞAN**	1	ŞİİRİN DUYGUSUNDAN MODAYA AKTARILAN KIYAFET TASARIMLARI	Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR Yüksek Lisans Nazmiye Çiçek GÜMÜŞ
		2	DUVARIN ARDINDAKİ KADIN: ATIK DUVAR KAĞITLARINDAN SANATSAL MODA TASARIMLARI	Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR Yüksek Lisans Öğrencisi Seda ÇOLAK
		3	MODA TASARIMINDA EPOKSİ REÇİNE UYGULAMASI; FARKLI KUMAŞ TÜRLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	Doç.Dr. Şengül EROL Shaghayegh TAJAMMOLI MOHADDES
		4	BİYOMİMİKRİ VE MİTOLOJİ BAĞLAMINDA YILAN EJDERHA METAFORUNUN GİYSİ TASARIMLARINA YANSIMALARI	Doç.Dr. Şengül EROL Rumeysa ÇOBAN
		5	FARKLI COĞRAFYALARIN GÖRSEL MİRASININ GÜNCEL TASARIMLARA AKTARIMI	Sibel ERDURAN Zeynep DUMAN
		6	SARAY RİTÜELLERİNİN GİYSİYE YANSIMASI: OSMANLI KAFTANLARININ TARİHSEL VE TEKNİK BAĞLAMI	Dr. Öğretim Üyesi Emine ERDOĞAN
		7	TAY-TECH TEKNİK KUMAŞLARIN FONKSİYONEL ÜRÜN TASARIMINDAKİ ROLÜ	Kıdemli Tasarımcı Selcan Korkmaz Dursun
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Öğr. Üyesi Sevil ÖZTAŞ**	1	MICROBIOTA–IMMUNE SYSTEM INTERACTIONS IN MULTIPLE SCLEROSIS: CURRENT EVIDENCE AND CLINICAL IMPLICATIONS	Dr. Öğr. Üyesi Sevil ÖZTAŞ
		2	CRISPR–CAS SYSTEMS AND ANTIMICROBIAL RESISTANCE: MECHANISMS, CHALLENGES, AND CLINICAL POTENTIAL	Dr. Öğr. Üyesi Sevil ÖZTAŞ
		3	THEOBROMINE AS A NATURAL SCAFFOLD FOR ANTICANCER DRUG DESIGN: DOCKING AND ADMET-BASED INSIGHTS	Assist. Prof.Dr. Emine TERZİ Assist. Prof.Dr. Beyza Ecem Öz Bedir
		4	COMPARATIVE INVESTIGATION OF PHENOLIC COMPOUNDS, ANTIOXIDANT CAPACITY AND PROTEIN CONTENT OBTAINED FROM ETHANOL AND WATER EXTRACTIONS OF VITEX AGNUS-CASTUS L. SEEDS	Assist. Prof. Dr. Muammer TEPE Assoc. Prof. Dr Hafize DİLEK TEPE
		5	THE EFFECTS OF DIFFERENT SOIL pH LEVELS ON THE HISTOLOGY OF Eisenia fetida	Irmak ZENGİN Res. Asst. Muhterem Elif DEMİRAĞ Res. Asst. Dr. Melodi YENMİŞ Assoc. Prof. Dr. Esra AKAT ÇÖMDEN
		6	INVESTIGATION OF COD, TOC, AND MEOH REMOVAL FROM BIODIESEL WASTEWATER USING THE O_3/H_2O_2/UV PROCESS	PhD. Meryem AKSU Doç.Dr. Nazire Pınar TANATTI
		7	ADVANCED OXIDATION PROCESSES IN THE TREATMENT OF PHARMACEUTICAL MANUFACTURING INDUSTRY WASTEWATER	Zehra ÖZTÜRK Emine CAN GÜVEN
		8	PİYASADA SATILAN İNCİR ÇEKİRDEĞİ YAĞLARININ ANTİOKSİDAN KAPASİTELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Ecz. Nursema MENEKŞE Doç. Dr. DUYGU TAŞKIN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Doç. Dr. Abdullah SEVİN**	1	SİMÜLASYONLARDA KULLANILAN SÖZDE RASTGELE SAYI ÜRETEÇLERİNİN PERFORMANS VE İSTATİSTİKSEL KARŞILAŞTIRMASI	Doç. Dr. Abdullah SEVİN
		2	KRİPTOGRAFİK SÖZDE RASTGELE SAYI ÜRETEÇLERİNİN PERFORMANS VE İSTATİSTİKSEL KARŞILAŞTIRMASI	Doç. Dr. Abdullah SEVİN
		3	BÜYÜK DİL MODELLERİNDE ATTENTİON MEKANİZMALARININ AÇIKLAYICILIĞININ YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Volkan ALTINTAŞ
		4	AN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE ADOPTION OF ONLINE PAYMENT SYSTEMS FROM INDIVIDUAL AND CORPORATE PERSPECTIVES	Zeynep Büşra KARAKOÇ Assis. Prof. Dr. Cafer Erhan BOZDAĞ
		5	DATASET BIAS IN COLONOSCOPY-BASED POLYP SEGMENTATION	Lect. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL Asst. Prof. Dr. Özkan BİNGÖL Prof. Dr. Kemal TURHAN
		6	DATA CLEANING AND SEMI-AUTOMATED LABELING WITH ACTIVE LEARNING FOR NOISY DATASETS	Asst. Prof. Dr. Özkan BİNGÖL
		7	HALLUCINATION ISSUES IN ENTERPRISE AI CHATBOTS AND THE RAG APPROACH	Mehmet Emin ERSÖZ Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BİLEN
		8	EXPLORING THE INTERSECTION OF GENETICS, CREATIVITY, AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS	Asst. Prof. Şeyma BOZKURT UZAN Research Assistant, Yasemin SİPAHİ Undergraduate Student, Şevval ARABACIOĞLU
		9	DİKKAT EKSİKLİĞİ VE HİPERAKTİVİTE BOZUKLUĞU İLAÇLARINA YÖNELİK HASTA GERİ BİLDİRİMLERİNİN DOĞAL DİL İŞLEME VE BÜYÜK DİL MODELLERİ İLE ANALİZİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Mertcan Sarıgül Doç. Dr. Özgür Gümüş
		10	KURUMSAL KİMLİK VE ERİŞİM YÖNETİMİ (IAM) SİSTEMLERİNDE ANOMALİ TESPİTİ	Sedat KARADAĞ Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR Mehmet Hakkı ERSOY Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU
		11	GÖRÜNTÜ TABANLI MALZEME VE BİLEŞEN ÖNERİSİ İÇİN DERİN TEMSİL ÖĞRENME YAKLAŞIMI	Sedat KARADAĞ Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR Mehmet Hakkı ERSOY Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Karim Mansouri**	1	INTEGRATING ARABIC LANGUAGE PRESERVATION INTO MODERN ALGERIAN BILINGUAL CURRICULA	Prof. Dr. Ahmed Belkacem, Fatima Zahraoui
		2	STEM EDUCATION CHALLENGES AND SOLUTIONS IN RURAL ALGERIAN SECONDARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Cherif, Yacine Boualem, Samir Lounis
		3	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT THROUGH PEER OBSERVATION IN ALGERIAN VOCATIONAL TRAINING	Dr. Karim Mansouri, Amina Hadji
		4	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES FOR STUDENTS WITH DISABILITIES IN ALGERIAN URBAN SCHOOLS	Laila Zerhouni, Prof. Dr. Mehdi Bouziane
		5	BLENDED LEARNING MODELS FOR RURAL CHINESE VOCATIONAL EDUCATION POST-PANDEMIC	Assoc. Prof. Dr. Li Wei, Zhang Hao
		6	AI-POWERED PERSONALIZED LEARNING SYSTEMS IN CHINESE PRIMARY MATHEMATICS CLASSROOMS	Dr. Wang Jing, Chen Ming, Liu Yang
		7	MORAL EDUCATION REFORM THROUGH CONFUCIAN VIRTUE CURRICULA IN MODERN CHINESE SCHOOLS	Xu Peng, Prof. Dr. Zhou Qian
		8	NEP 2020 IMPLEMENTATION CHALLENGIES FOR MULTILINGUAL EDUCATION IN INDIAN HILL STATES	Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar, Priya Sharma
		9	VOCATIONAL EDUCATION ALIGNMENT WITH MAKE IN INDIA INITIATIVE IN SOUTHERN STATES	Dr. Sanjay Patel, Neha Gupta, Amit Singh
		10	TEACHER AGENCY AND CURRICULUM ADAPTATION IN REMOTE INDIAN TRIBAL EDUCATION	Anjali Desai, Prof. Dr. Meera Joshi
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Elena Cebotari**	1	URBAN MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION CHALLENGES AMONG RURAL MIGRANTS IN CAIRO'S INFORMAL SETTLEMENTS	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Fatima Hassan, Omar Khalil
		2	GENDER ROLES TRANSFORMATION IN POST-ARAB SPRING EGYPTIAN UNIVERSITY CAMPUSES	Assoc. Prof. Dr. Nadia Abdel Rahman, Karim Fouad
		3	RELIGIOUS PLURALISM AND INTERFAITH DYNAMICS IN ALEXANDRIA'S COSMOPOLITAN NEIGHBORHOODS	Dr. Salma Ibrahim, Youssef Nasser, Prof. Dr. Hala Mostafa
		4	YOUTH UNEMPLOYMENT AND POLITICAL RADICALIZATION PATHWAYS IN GREATER CAIRO	Mona El-Gendy, Assoc. Prof. Dr. Tarek Mahmoud
		5	POST-SOVIET IDENTITY NEGOTIATIONS AMONG MOLDOVAN DIASPORA COMMUNITIES IN EUROPE	Prof. Dr. Ion Creangă, Maria Lupu
		6	RURAL DEPOPULATION AND SOCIAL CAPITAL EROSION IN MOLDOVA'S NORTHERN REGIONS	Dr. Ana Popescu, Victor Rusu, Liliana Andronati
		7	LANGUAGE POLITICS AND ETHNIC MINORITY INTEGRATION IN URBAN CHISINAU	Assoc. Prof. Dr. Elena Cebotari
		8	CASTE PERSISTENCE AND URBAN LABOR MARKET DISCRIMINATION IN MUMBAI MEGACITY	Prof. Dr. Ravi Shankar, Priya Mehta,
		9	CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES AMONG INDIA'S SMALLHOLDER FARMING COMMUNITIES	Dr. Lakshmi Nair, Assoc. Prof. Dr. Vikram Singh
		10	DIGITAL DIVIDE AND RURAL YOUTH EMPOWERMENT THROUGH E-GOVERNANCE INITIATIVES	Sanjay Gupta, Dr. Neha Kapoor, Rahul Verma
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Fatima Rahman	1	THE IMPACT OF MINDFULNESS INTERVENTIONS ON EMOTIONAL REGULATION IN GREEK PRIMARY SCHOOL CHILDREN	Prof. Dr. Maria Papadopoulos, Dr. Nikos Antoniou, Eleni Stavrou
		2	SCREEN TIME EFFECTS ON LANGUAGE DEVELOPMENT AND ATTENTION SPANS IN TODDLERS FROM ATHENS	Assoc. Prof. Dr. Sophia Dimitriadou, Kostas Georgiou
		3	FAMILY DYNAMICS AND ANXIETY PATTERNS IN ADOLESCENTS FROM GREEK ISLAND COMMUNITIES	Dr. Anna Theodorou, Panagiotis Lazos, Maria Koukoula
		4	PLAY THERAPY EFFICACY FOR TRAUMA RECOVERY IN CHILDREN AFFECTED BY GREEK WILDFIRES	Georgios Papageorgiou, Prof. Dr. Eirini Tsakiridou
		5	NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND COGNITIVE DEVELOPMENT IN BANGLADESH RURAL PRESCHOOLERS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Rahman, Dr. Arif Hossain
		6	MATERNAL DEPRESSION EFFECTS ON ATTACHMENT FORMATION IN DHAKA URBAN INFANTS	Ruma Begum, Dr. Shahidul Islam, Nusrat Jahan
		7	FLOOD-INDUCED TRAUMA AND RESILIENCE BUILDING IN BANGLADESH RIVERINE CHILDREN	Prof. Dr. Khaleda Akter, Sumaiya Chowdhury
		8	DIGITAL LEARNING PLATFORMS AND SOCIAL SKILLS DEVELOPMENT IN INDONESIAN PRIMARY STUDENTS	Dr. Wayan Sari, I Made Putra, Ni Luh Astuti
		9	CULTURAL PLAY PATTERNS AND CREATIVITY FOSTERING IN BALINESE PRESCHOOL CHILDREN	Assoc. Prof. Dr. Ketut Widana, Ayu Dewi

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assis. Prof. Dr. Zhanna Tastanbekova,**	1	LABOR MIGRATION PATTERNS FROM RURAL KAZAKHSTAN TO RUSSIAN FEDERATION CITIES: SOCIOECONOMIC DRIVERS AND FAMILY IMPACTS	Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Yerzhan Tolegenov, Aidana Kurmangaliyeva
		2	URBANIZATION AND INTERNAL MIGRATION FLOWS IN POST-SOVIET KAZAKHSTAN: ALMATY VS ASTANA CASE COMPARISON	Assoc. Prof. Dr. Ruslan Zhumatov, Nurlan Bekbolatov
		3	CLIMATE-INDUCED ENVIRONMENTAL MIGRATION FROM ARAL SEA REGION IN SOUTHERN KAZAKHSTAN	Dr. Aizhan Kassenova, Dina Sarsenbayeva
		4	KAZAKH DIASPORA RETURN MIGRATION AND NATIONAL IDENTITY FORMATION PROCESSES	Assis. Prof. Dr. Zhanna Tastanbekova, Erlan Nurgaliyev
		5	CIRCULAR LABOR MIGRATION BETWEEN RUSSIA AND CENTRAL ASIA: CENTRAL ASIAN MIGRANT EXPERIENCES IN MOSCOW	Prof. Dr. Irina Petrova, Dr. Sergei Kuznetso
		6	HIGHLY SKILLED RUSSIAN EMIGRATION POST-2022: BRAIN DRAIN TO GEORGIA AND ARMENIA	Assoc. Prof. Dr. Elena Volkova, Mikhail Ivanov
		7	UKRAINIAN REFUGEES IN RUSSIA: INTEGRATION CHALLENGES AND STATE-SOCIETY TENSIONS	Dr. Natalia Smirnova, Pavel Morozov, Anna Kuzmina
		8	BALKAN LABOR MIGRATION TO EU COUNTRIES: NORTH MACEDONIAN WORKERS IN GERMANY AND AUSTRIA	Assoc. Prof. Dr. Nikola Popovski, Elena Ivanovska
		9	INTERNAL RURAL-URBAN MIGRATION AND SOCIAL COHESION IN POST-SOCIALIST NORTH MACEDONIA	Dr. Marija Petrovska, Goran Trajkovski

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Olga Smirnova,**	1	COMMUNITY-BASED CONSERVATION INITIATIVES AND WILDLIFE PROTECTION IN KENYAN SAVANNAS	Prof. Dr. Kamau Njoroge, Amina Otieno
		2	GENDER ROLES EVOLUTION IN URBAN KENYAN SLUM ECONOMIES POST-DEVOLUTION	Assoc. Prof. Dr. Wanjiku Mwangi, Dr. Elias Kiprop
		3	YOUTH RADICALIZATION PATHWAYS AND PEACEBUILDING INTERVENTIONS IN COASTAL KENYA	Fatima Hassan, Prof. Dr. Juma Omondi
		4	CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES AMONG PASTORALISTS IN NORTHERN KENYA	Dr. Sarah Lekule, Nathan ole Kipury
		5	URBAN INFORMALITY AND SOCIAL CAPITAL FORMATION IN NAIROBI'S MATATU SECTOR	Miriam Wairimu, Assoc. Prof. Dr. Peter Njoroge
		6	RUSSIA'S SOFT POWER PROJECTION THROUGH CULTURAL DIPLOMACY IN POST-SOVIET SPACE	Prof. Dr. Irina Petrova, Dr. Alexei Volkov
		7	ETHNIC FEDERALISM CHALLENGES AND IDENTITY POLITICS IN CONTEMPORARY RUSSIA	Assoc. Prof. Dr. Natalia Kuznetsova, Sergei Ivanov
		8	MEMORY POLITICS AND WWII NARRATIVES IN RUSSIAN EDUCATION SYSTEMS	Dr. Olga Smirnova, Mikhail Kuzmin
		9	URBAN RURAL DIVIDE AND SOCIAL MOBILITY PATTERNS IN MODERN JAPAN	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka, Aiko Nakamura
		10	AGING SOCIETY CHALLENGES AND INTERGENERATIONAL SOLIDARITY IN JAPAN	Dr. Yumi Sato, Kenji Yamamoto
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Luan Rama, Dr. Anila Godo**	1	WORK-LIFE BALANCE AND GENDER EQUALITY IN CORPORATE JAPAN	Assoc. Prof. Dr. Mika Kobayashi
		2	SHIITE-SUNNI DYNAMICS AND SECTARIAN PEACEBUILDING IN CONTEMPORARY IRAN	Prof. Dr. Reza Mohammadi, Fatemeh Karimi
		3	WOMEN'S POLITICAL PARTICIPATION UNDER THEOCRATIC GOVERNANCE IN IRAN	Dr. Soraya Ahmadi, Ali Jafari
		4	URBAN MIGRATION AND FAMILY STRUCTURE TRANSFORMATIONS IN RURAL IRAN	Assoc. Prof. Dr. Hassan Rezaei, Leila Bahrami
		5	EDUCATION REFORMS AND YOUTH EMPLOYABILITY IN POST-TALIBAN AFGHANISTAN NEIGHBORHOODS	Prof. Dr. Ahmed Khan, Sara Malik, Bilal Rehman
		6	CLIMATE INDUCED MIGRATION AND BORDERLAND IDENTITIES IN BALOCHISTAN	Dr. Fatima Zahra, Omar Siddiqui
		7	RELIGIOUS PLURALISM AND INTERFAITH DIALOGUE INITIATIVES IN URBAN PAKISTAN	Assoc. Prof. Dr. Ayesha Rahman, Zainab Noor
		8	DIGITAL ETHNOGRAPHY OF DIASPORA IDENTITIES AMONG ALBANIAN COMMUNITIES IN EUROPE	Prof. Dr. Luan Rama, Dr. Anila Godo
		9	TRANSITIONAL JUSTICE MECHANISMS AND POST-COMMUNIST RECONCILIATION IN ALBANIA	Assoc. Prof. Dr. Erion Veliaj, Mira Xhaxho
		10	RURAL TOURISM DEVELOPMENT AND CULTURAL HERITAGE PRESERVATION IN NORTHERN ALBANIA	Dr. Blerta Hoxha, Krenar Gashi
		11	YOUTH POLITICAL ENGAGEMENT IN POST-SOCIALIST ALBANIAN DEMOCRACY	Mirela Dervishi, Prof. Dr. Sokol Lloshi

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Ana Martínez,**	1	THE INTERSECTION OF SUFISM AND KYRGYZ NOMADIC SPIRITUALITY IN CENTRAL ASIAN ISLAMIC TRADITION	Prof. Dr. Almazbek Asanov, Gulnara Ibraimova EXISTENTIAL THEMES IN
		2	BUDDHIST INFLUENCES ON PRE-ISLAMIC KYRGYZ SHAMANISM AND TENGRISM	Dr. Bakyt Omuraliev, Janyl Myrzakmatova, Erlan Kadyrov
		3	THOMAS AQUINAS' NATURAL LAW THEORY AND CONTEMPORARY SPANISH BIOETHICS DEBATES	Prof. Dr. Miguel Hernández, Carmen López
		4	EXISTENTIAL PHENOMENOLOGY AND SPANISH MYSTICAL THEOLOGY: A COMPARATIVE STUDY	Assoc. Prof. Dr. Ana Martínez, Javier Ruiz
		5	NIETZSCHE'S CRITIQUE OF CHRISTIANITY AND CONTEMPORARY SPANISH SECULARIZATION PROCESSES	Dr. Elena García, Prof. Dr. Roberto Sánchez
		6	MAHAYANA BUDDHISM'S EMPTINESS DOCTRINE AND CAMBODIAN THERAVADA PRACTICES	Sovannarith Kim, Dr. Chhay Lay
		7	HINDU INFLUENCES ON PRE-ANGKORIAN CAMBODIAN COSMOLOGY AND RITUAL PRACTICES	Assoc. Prof. Dr. Vireak Soth, Maly Phoung
		8	CHRISTIAN MISSIONARY ENCOUNTERS WITH CAMBODIAN BUDDHISM DURING FRENCH COLONIAL PERIOD	Prof. Dr. Sopheap Nguon, Rithy Chum
		9	KYRGYZ EPIC POETRY AND THEIR PARALLELS WITH NIETZSCHEAN PHILOSOPHY	Assoc. Prof. Dr. Nurlan Toktonaliev, Aidana Sarybaeva
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Karim Belkacem,**	1	ISLAMIC FINANCE CONTRACTS AND SHARIA COMPLIANCE IN SAUDI ARABIAN COMMERCIAL LAW	Prof. Dr. Abdullah Al-Saud, Dr. Fatima Al-Ghamdi, Khalid Al-Mansour
		2	DATA PROTECTION REGULATIONS AND CYBERSECURITY CHALLENGES IN THE KINGDOM OF SAUDI ARABIA	Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Qahtani, Sara Al-Harbi
		3	WOMEN'S RIGHTS EVOLUTION UNDER GUARDIANSHIP SYSTEM REFORMS IN SAUDI FAMILY LAW	Dr. Laila Al-Otaibi, Mohammed Al-Sharif, Prof. Dr. Huda Al-Ghanmi
		4	CONSTITUTIONAL REFORMS AND PUBLIC LAW CHALLENGES IN POST-INDEPENDENCE ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Karim Belkacem, Yacine Hadji
		5	INTERNATIONAL HUMAN RIGHTS LAW IMPLEMENTATION IN ALGERIAN DOMESTIC JURISPRUDENCE	Dr. Nadia Zerhouni, Samir Lounis, Amina Boualem
		6	COMMERCIAL ARBITRATION LAW REFORM AND FOREIGN INVESTMENT PROTECTION IN ALGERIA	Prof. Dr. Ahmed Larbi, Fatima Zerrouki
		7	CROSS-BORDER DATA FLOWS AND CYBERSECURITY REGULATION IN LEBANESE FINANCIAL SECTOR	Assoc. Prof. Dr. Elie Salem, Dr. Nadia Khoury, Michel Aoun
		8	REFUGEE LAW CHALLENGES AND NON-REFOULEMENT PRINCIPLE IN LEBANESE JURISPRUDENCE	Dr. Carla Haddad, Rami Nasr, Assis. Prof. Dr. Lina Hayek
		9	ANTI-MONEY LAUNDERING REGULATIONS AND TERRORIST FINANCING PREVENTION IN LEBANON	Prof. Dr. Antoine Habchi, Sarah El-Khoury

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Mehmet ÖZMENLİ**	1	FERUDUN ZAİMOĞLU VE ALMANYA'DA YAŞAYAN TÜRKLERİN TOPLUMSAL VE DİLSEL PROBLEMLERİ	Doç. Dr. Seriyye Gündoğdu
		2	TÜRK ŞİİRİNDE MASALIN PROPP'UN MASAL TEORİSİNE GÖRE YENİDEN YORUMLANIŞI: SEZAİ KARAKOÇ ÖRNEĞİ	Doç. Dr. Canan OLPAK KOÇ Dilek Rabia ERGÜL
		3	LATİFE TEKİN'İN SEVGİLİ ARSIZ ÖLÜM ROMANINDA ÇOCUK GÖZÜYLE AİLE KAVRAMI	Doç. Dr. Canan OLPAK KOÇ Dilek Rabia ERGÜL
		4	ESKİ ANADOLU TÜRKÇESİYLE YAZILMIŞ BİR SATIR ARASI KUR'AN TERCÜMESİ	Öğr. Gör. Mutlu KAYA
		5	Occupational Folklore in Sait Faik Abasıyanık's Adapazarı Stories	Dr. Oğuz YILDIRIM
		6	ROMANTİK YALANIN ÇÖKÜŞÜ: RENÉ GIRARD'IN ÜÇGEN ARZU MODELİYLE MEHMET RAUF'UN GENÇ KIZ KALBİ ROMANI	Doç. Dr. Nazlı MEMİŞ BAYTİMUR
		7	GÖÇ OLGUSU BAĞLAMINDA MEVLANA İDRİS'İN HALEPLİ ZEYNEP ADLI ÇOCUK KİTABININ İNCELENMESİ	Prof. Dr. Elif AKTAŞ Arş. Gör. Ahmet Turan EŞ
		8	KARAKTER ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN MERT ARIK'IN BENİM ZÜRAFAM UÇABİLİR ADLI ÇOCUK KİTABININ İNCELENMESİ	Prof. Dr. Elif AKTAŞ Arş. Gör. Ahmet Turan EŞ
			BOZKIR HAYATININ ÜÇ TEMEL UNSURU: ÇADIR, AT VE DEMİR	Prof. Dr. Mehmet ÖZMENLİ Öğr. Gör. Gökhan HAMZAÇEBİ
			RİTİM, İKTİDAR VE KİMLİK: TÜRK KÜLTÜRÜNDE DAVULUN İNANÇ, NEVBET VE HALK OYUNLARI BAĞLAMINDAKİ DÖNÜŞÜMÜ	Prof. Dr. Mehmet ÖZMENLİ Öğr. Gör. Gökhan HAMZAÇEBİ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr.Öğr.Üyesi Pınar GÜMÜŞ AKAR**	1	MICROECONOMIC OUTCOMES OF FINANCIAL LITERACY	Assistant Professor, PhD, Kutlu ERGÜN
		2	"TAVAN FİYAT MI KURUMSAL AYARLAMA MI?" 1009/1600 NARH DEFTERİ ÜZERİNDEN OSMANLI'DA MAL BAZLI FİYAT MÜDAHALESİNİN MİKRO ANALİZİ	Arş. Gör. M. Ali Yapıcı Prof. Dr. Gülden Ülgen
		3	THE INTERACTION BETWEEN INCOME INEQUALITY AND DEFENSE EXPENDITURES: THE CASE OF CHINA	Dr. Öğr. Üyesi Fatih AKIN Dr. Ayşe ERYER
		4	KAMU HARCAMALARININ BİLEŞİMİ VE EKONOMİK PERFORMANS ÜZERİNE TEORİK BİR ARAŞTIRMA	Doç. Dr. Burcu YILMAZ ŞAHİN Dr. Öğr. Üyesi Halit Levent ORMAN
		5	TEKNOLOJİK YAYILMA TEORİLERİ ÇERÇEVESİNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE EKONOMİK PERFORMANS: TEORİK BİR İNCELEME	Doç. Dr. Burcu YILMAZ ŞAHİN Dr. Öğr. Üyesi Halit Levent ORMAN
		6	HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI VE DOĞRUDAN YABANCI YATIRIM GİRİŞLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ: EN YÜKSEK DYY STOKUNA SAHİP ÜLKELER ÜZERİNE AMPİRİK BİR ANALİZ	Dr.Öğr.Üyesi Pınar GÜMÜŞ AKAR
		7	YAPAY ZEKÂ VE İSTİHDAM İLİŞKİSİ: MESLEKLER TEMELLİ AMPİRİK BİR ANALİZ	Suat MUMCU Doç. Dr. Abdullah ALTUN
		8	TÜRKİYE'DE GIDA FİYAT ARTIŞLARININ TÜKETİCİ MAL SEPETİNDEKİ KAYMALARA ETKİSİ	Arş. Gör. Merve BENGÜ DEMİRKIRAN Prof. Dr. Gülden ÜLGEN
		9	BİRLEŞMİŞ MİLLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA HEDEFLERİ İLE KAMU BÜTÇELEME SÜREÇLERİNİN KURAMSAL KESİŞİMİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ	Dr. Öğretim Üyesi Emrah KIRATOĞLU
		10	BRİCS ÜLKELERİNDE DİJİTAL EKONOMİ VE DIŞA AÇIKLIKLIĞIN İŞSİZLİK ORANINA ETKİLERİ: AMPİRİK KANITLAR	Dr. Öğr. Üyesi Nuran ÖZTÜRK OFLUOĞLU
		11	ANALYSIS OF CONSANGUINEOUS MARRIAGE RATES IN TURKEY	Prof. Dr. Ersin KIRAL Prof. Dr. Gülsen KIRAL

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Yrd.Doç.Dr.Burak KURTCEBE**	1	TRUMPİZM 2.0 VE 3. DÜNYA SAVAŞI SÖYLEMİNİN GÜVENLİKLEŞTİRİLMESİ	Salih EROĞLU
		2	RUS ASKERİ DOKTRİNİ MASKİROVKA'NIN UKRAYNA SAVAŞI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ	Salih EROĞLU
		3	EGEMENLİK ÇATIŞMASI: KIBRIS HELEN MİLLİYETÇİSİ PARTİLERİNİN 'SİYASİ EŞİTLİK' KAVRAMINA YAKLAŞIMI VE AVRUPA BİRLİĞİ NORMLARI İLE ÇELİŞKİSİ	Yrd.Doç.Dr.Burak KURTCEBE
		4	BATI-SONRASI DÜNYADA ORTAK KİMLİK İNŞASI: YENİ BÖLGESELCİLİK BAĞLAMINDA TÜRK DEVLETLERİ TEŞKİLATI	Yüksek Lisans Öğrencisi Inkar KANAT Dr. Öğr. Üyesi Haluk DOĞAN
		5	INVESTIGATION OF THE CROWDSOURCING UTILIZATION MODEL IN LOGISTICS	Prof.Dr. Aydın KAYABAŞI Doç.Dr. Hakan Kiracı Doç.Dr. Fatma Demirağ
		6	KÜRESEL VE YEREL E TİCARET PLATFORMLARA YÖNELİK GÜVEN VE SATIN ALMA DÜŞÜNCESİ	Emine BÜYÜKER ARITÜRK
		7	GEOPOLITICAL RISKS AND CANAL PROJECTS IN INTERNATIONAL LOGISTICS WITHIN THE FRAMEWORK OF MAHAN'S SEA POWER THEORY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE KIEL CANAL AND THE DON-VOLGA CANAL	Doktora Öğrencisi Mehmet ERDOĞDU Doç. Dr. Nihan Tomris KÜÇÜN
		8	A REVIEW OF LOGISTICS INFORMATION SYSTEMS	Doç. Dr. Yasin ŞEKER Doç. Dr. Oğuz Yusuf ATASEL Doç. Dr. Nevzat GÜNGÖR
			A REVIEW OF WAREHOUSE MANAGEMENT, OPERATIONS, AND EFFICIENCY	Doç. Dr. Nevzat GÜNGÖR Doç. Dr. Yasin ŞEKER Doç. Dr. Oğuz Yusuf ATASEL

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Mustafa POLAT**	1	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF RESEARCH ON INTERNATIONAL STUDENTS' SENSE OF BELONGING	Doç. Dr. Mustafa POLAT Prof. Dr. Fatih KIRIŞIK
		2	BIG ARTIFICIAL INTELLIGENCE COMPANIES AND DIGITAL SOVEREIGNTY	Prof. Dr., FATİH KIRIŞIK Öğr. Gör. Dr., HÜLYA ÖZÇAĞLAR EROĞLU
		3	TÜRKÇE EĞİTİMİ BAĞLAMINDA ÜRETKEN YAPAY ZEKA: ÖĞRETMEN ADAYLARININ ALGILARI VE DENEYİMLERİ	Prof. Dr. Hasan BAĞCI Arş. Gör. Ömer ACAR
		4	TÜRKÇE ÖĞRETMENİ ADAYLARININ MANTIK HATALARI FARKINDALIK DÜZEYLERİNİN ÇEİŞİTLİ DEĞİŞİKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	Prof. Dr. Hasan BAĞCI Mehmet İZCİ
		5	MÜZİK EĞİTİMİ ÇERÇEVESİNDE MÜKEMMELİYETÇİLİK VE PERFORMANS KAYGISI	İrem Ayça DEMİR Prof.Dr.Birsen JELEN
		6	AN EXAMINATION OF TEACHERS' SELF-EFFICACY IN SPECIAL EDUCATION NEEDS BY TOTAL WORK EXPERIENCE: A NON-PARAMETRIC ANCOVA	Doç. Dr. Mahmut Sami KOYUNCU Doç. Dr. Mehmet ŞATA
		7	AN EXAMINATION OF TEACHERS' WORKPLACE STRESS AND WELL-BEING LEVELS BY CLASS SIZE	Doç. Dr. Mahmut Sami KOYUNCU Doç. Dr. Mehmet ŞATA
		8	EVALUATION OF DIGITAL APPLICATIONS USED IN TURKISH LANGUAGE TEACHING THROUGH META-THEMATHICAL ANALYSIS	Sergen Aydın
		9	2025 LGS FEN BİLİMLERİ SORULARININ YENİLENMİŞ BLOOM TAKSONOMİSİNİN BİLİŞSEL ALAN BASAMAKLARINA GÖRE İNCELEMESİ	Uzman Öğretmen Adem ERTAÇ Doç. Dr. Bilge ÖZTÜRK
		10	EĞİTİMDE DİJİTAL OKURYAZARLIĞA İLİŞKİN YAPILAN ARAŞTIRMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	Hatice KAYNAK Dr. Öğr. Üyesi Ramazan YURTSEVEN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof.Dr. Şükran UÇUŞ GÜLDALI**	1	EĞİTİMDE WEB 2.0 ARAÇLARI KULLANIMINA İLİŞKİN ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ	Şule AYDIN ÜNLÜ Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Enes TEPE Dr. Öğr. Üyesi Ramazan YURTSEVEN
		2	OKUL ÖNCESİ DÖNEMDE ÇOCUĞA SAHİP ANNELERDE GELİŞİMSEL NİŞ İLE ANNELİK BECERİLERİNDEKİ ÖZ YETERLİK İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ	Bilim Uzmanı, Ömrüm UZUN YOLCU Dr. Öğr. Üyesi, Nalan ARABACI
		3	TOULMİN ARGÜMANTASYON YAKLAŞIMINA GÖRE ÖĞRETMEN ADAYLARININ DEĞER ALGILARI: EYLEM ARAŞTIRMASI	Prof.Dr. Şükran UÇUŞ GÜLDALI Yüksek Lisans Öğrencisi Durdu Nur DOĞAN Yüksek Lisans Öğrencisi Ebrar Şilan AYDEMİR
		4	2018 ve 2024 HAYAT BİLGİSİ ÖĞRETİM PROGRAMLARININ YARATICI DÜŞÜNME AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI	Prof.Dr. Şükran UÇUŞ GÜLDALI Şebnem ÇAĞLAR
		5	DİJİTAL DAYANIKLILIK ÖLÇEĞİ'NİN TÜRKÇE'YE UYARLANMASI: GEÇERLİK VE GÜVENİRLİK ÇALIŞMASI	Doç. Dr. Yahya AKTU Dr. Öğr. Üyesi Ercan ARAS Dr.Ayfer İLYAS
		6	AN ANALYSIS OF ASSESSMENT AND EVALUATION TOOLS IN THE 2024 CURRICULUM UNDER THE CENTURY OF TÜRKIYE EDUCATION MODEL	Cansel ÖZYİĞİT HOŞAFCI Metin HOŞAFCI Assist. Prof. Dr., Hasan Fehmi ÖZDEMİR Assoc. Prof. Dr., Ömer NAYCİ
		7	TIMSS VE PIRLS BAĞLAMINDA LETONYA EĞİTİM SİSTEMİNİN İNCELENMESİ VE TÜRKİYE AÇISINDAN ÇIKARIMLAR	Damla ERDOĞAN Doç. Dr. Hasan Fehmi ÖZDEMİR
		8	14–18 YAŞ ÖĞRENCİLERİNİN FİZİKSEL UYGUNLUK DÜZEYİ KAPASİTELERİNE COVID-19 PANDEMİ SÜRECİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Öğretmen Asuman PEHLİVAN Prof Dr. Mustafa ALTINKÖK
			14–18 YAŞ ÖĞRENCİLERİNİN BESLENME ÖZ – YETERLİK TUTUMLARINA COVID-19 PANDEMİ SÜRECİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Öğretmen Asuman PEHLİVAN Prof Dr. Mustafa ALTINKÖK

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Doç. Dr. Hilal KUŞCU KARATEPE**	1	HEMŞİRELİK MESLEKİ KİMLİK ALGISI	Doç. Dr. Muhammet Ali ÇELEBİ Yüksek Lisans Öğrencisi Şevket BAŞTUĞ
		2	TIP HEKİMİ MESLEKİ KİMLİĞİ	Doç. Dr. Muhammet Ali ÇELEBİ Yüksek Lisans Öğrencisi İlyas UÇAR
		3	THE IMPORTANCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTH CARE	Beyza YILDIZ Doç.Dr. Sevtap SARIOĞLU UĞUR
		4	SAĞLIK ÇALIŞANLARININ DEMOGRAFİK ÖZELLİKLERİ BAKIMINDAN ALGILANAN LİDERLİK TARZLARININ ÇALIŞANLARIN MOTİVASYON DÜZEYİNE ETKİSİ	Prof. Dr. Ali ŞAHİN Bilim Uzmanı Selin GEVREK
		5	SAĞLIK SEKTÖRÜ ÇALIŞANLARI VE YÖNETİCİLERİNİN LİDERLİK ALGISI KONYA SELÇUKLU ÖRNEĞİ	Prof. Dr. Ali ŞAHİN Bilim Uzmanı Selin GEVREK
		6	SAĞLIK KURUMLARINDA İSG EĞİTİMLERİ: KAPSAM, MEVZUAT VE UYGULAMA YAKLAŞIMLARI	Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet Aktar Dr. Öğretim Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER
		7	SAĞLIKTA YAPAY ZEKA VE DİJİTALLEŞMENİN ROLÜ	Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet Aktar Dr. Öğretim Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER
		8	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DIGITAL LITERACY IN NURSES	Doç. Dr. Hilal KUŞCU KARATEPE
			DETERMINING THE EFFECT OF COGNITIVE FLEXIBILITY ON INNOVATIVE BEHAVIOR	Doç. Dr. Hilal KUŞCU KARATEPE

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr. İbrahim YIKILMAZ**	1	SİBER ZORBALIĞIN PSİKOSOSYAL BİR YORDAYICISI OLARAK AHLAKİ DUYARSIZLAŞMA: EMPATİNİN ARACI ETKİSİ	Prof.Dr. Yunus ZENGİN
		2	THE APPROPRIATENESS OF TEAL ORGANIZATIONS FOR GENERATION Z	Doç. Dr. Aysel Arslan
		3	CHALLENGING WORK ENVIRONMENTS: INTERPERSONAL DEVIANCE, TURNOVER INTENTION, AND THE MODERATING ROLE OF OPTIMISM	Dr. Gülay Murat Eminoğlu
		4	PERSONNEL MANAGEMENT IN THE OTTOMAN PUBLIC HEALTH ORGANIZATION:AN EXAMINATION OF AN 1889 INSTRUCTION	Arş. Gör. Dr. Ramazan Furkan ÖZKUL
		5	DONANMA-YI OSMÂNÎ'DE PERSONEL YÖNETİMİ: 1910 TARİHLİ BİR TALİMATNAME İNCELEMESİ	Arş. Gör. Dr. Ramazan Furkan ÖZKUL
		6	WELL-BEING IN WORK LIFE: MODELS AND INTERVENTION APPROACHES	Prof. Dr. Devrim VURAL YILMAZ Doç. Dr. Demet VURAL YÜZBAŞI
		7	JOB SEARCH ANXIETY IN EMERGING ADULTHOOD: A THEORETICAL EVALUATION	Prof. Dr. Devrim VURAL YILMAZ Doç. Dr. Demet VURAL YÜZBAŞI
		8	YÖNETİCİLERİN Z KUŞAĞI ÇALIŞANLARA YÖNELİK ALGILARI VE YÖNETİMSEL İSTEKSİZLİĞİN NEDENLERİ	Ömer KARADEMİR
			COFFEE BADGING: CONCEPTUALIZING SYMBOLIC PRESENTEEISM IN HYBRID WORK CONTEXTS	Doç. Dr. İbrahim YIKILMAZ Dr. Ögr. Üyesi Havva DEĞİRMENCİ TARAKÇI
			QUIET THRIVING: CONCEPTUALIZING SILENT AND SUSTAINABLE EMPLOYEE GROWTH IN CONTEMPORARY WORKPLACES	Doç. Dr. İbrahim YIKILMAZ Prof. Dr. Muhsin HALİS

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Öğretim Üyesi Ayşe YAVUZ**	1	GÜÇLENDİRİCİ LİDERLİK VE ÇALIŞANLARDA İŞ BAĞLILIĞI ARASINDAKİ İLİŞKİ: META ANALİTİK BİR YAKLAŞIM	Dr. Öğr. Üyesi Onur OKTAYSOY Doç. Dr. Selen UYGUNGİL ERDOĞAN Doç. Dr. Ethem TOPÇUOĞLU
		2	YAPAY ZEKÂ VE ÇALIŞAN REFAHI: BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ	Doç. Dr. Selen UYGUNGİL ERDOĞAN Doç. Dr. Ethem TOPÇUOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Onur OKTAYSOY
		3	KARİYER KEŞFİNİN BAZI DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ: HAVACILIK YÖNETİMİ ÖĞRENCİLERİ ÜZERİNDE BİR ARAŞTIRMA	Dr. Öğretim Üyesi Tugay ÖNEY Havacılık Yönetimi Lisans Öğrencisi Özge Mislina ERDEM
		4	YEREL İSTİHDAMIN GELİŞTİRİLMESİNDE STRATEJİK BİR ARAÇ OLARAK EĞİTİM YÖNETİMİ; İBB'DE BİR ARAŞTIRMA.	Nursev GARİPDOĞAN Dr.Öğr. Üyesi Meriç Esat BEBİTOĞLU
		5	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN ÜNİVERSİTE LİDERLİĞİNE İLİŞKİN METAFORİK ALGILARI	Dr. Ejder Güven
		6	HAVA TAŞIMACILIĞINDA YOLCU PROFİLİ VE TERCİHLERİ: KASTAMONU ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Özcan ÖZVEREN Dr. Öğr. Üyesi Şafak AKTEMUR Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir ALICI Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERTEK
		7	İŞ DÜNYASINDA YENİ BİR TEHDİT: SESSİZ ÇATLAMA (QUİET CRACKİNG) VE ÖRGÜTSEL YANSIMALARI	Dr. Öğretim Üyesi Ayşe YAVUZ
		8	İŞ YAŞAMINDA TOKSİK POZİTİFLİK: NEDENLERİ VE SONUÇLARI ÜZERİNE KAVRAMSAL BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi Ayşe YAVUZ
		9	FİRMA PERFORMANSININ BELİRLEYİCİSİ OLARAK SOSYO-DUYGUSAL ZENGİNLİK: BİR ARAŞTIRMA MODEL ÖNERİSİ	Dr. Ömer Samet KAZDAL Dr. Öğr. Üyesi Derya ÇELİK

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Doç. Dr. Mustafa BABADAĞ**	1	MUHASEBE SÜREÇLERİ AÇISINDAN ARTAN VERGİ VE HARÇLAR	YÜKSEK LİSANS ÖĞRENCİSİ SAMET BABACAN Doç. Dr. MURAT KARAHAN
		2	THE EFFECT OF POSITIVE ATTITUDES TOWARDS ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON INTERNET ENTREPRENEURSHIP INTENTION	Doç. Dr. Mustafa BABADAĞ
		3	ENFLASYON MUHASEBESİ KONUSUNDA YAPILMIŞ LİSANSÜSTÜ ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	ÖMER FARUK EFE Doç. Dr. AZİZE ESMERAY
		4	ARACI KURUMLARDA FİNANSAL İLETİŞİM YOĞUNLUĞU VE ÇIKAR ÇATIŞMALARI	Gizem KALAYLAR Doç. Dr. Özen AKÇAKANAT
		5	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ARASINDA KRİPTO PARA BİRİMLERİNE İLİŞKİN FARKINDALIK DÜZEYLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Norina KABIRI Doç. Dr. Canan YILDIRAN
		6	ACCOUNTING FOR CONSOLIDATION UNDER IFRS 10 AND IFRS 12	Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÖZCAN
		7	THE EFFECTS OF SUNK COST FALLACY ON INVESTOR PERSISTENCE, LOSS AVERSION BEHAVIOR, AND PORTFOLIO MANAGEMENT	Doktora Öğrencisi Didar KAYİŞ BEŞİKTAŞLI Prof. Dr. Fatih KONAK
		8	A CONCEPTUAL ANALYSIS OF FINANCIAL CONVERGENCE IN THE GLOBAL SOUTH: A THEORETICAL APPROACH TO THE INTERCONNECTIVITY BETWEEN BORSA ISTANBUL AND BRICS MARKETS	Doktora Öğrencisi Didar KAYİŞ BEŞİKTAŞLI Prof. Dr. Fatih KONAK
			AN ANALYSIS OF THE INTEREST-FREE FINANCIAL STRUCTURE IN TURKEY USING SWOT ANALYSIS	Asst. Prof. Dr. Esra ERİK AKYOL
			2015-2024 YILLARI ARASINDA MUHASEBE ALANINDA YAZILMIŞ YÜKSEK LİSANS TEZLERİNİN BİBLİYOMETRİK YÖNTEMLE ANALİZİ	Doktora Öğrencisi Ayşe EKER Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇİÇEKAY Prof. Dr. Mehmet DEMİR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof. Dr. Uluç ÇAĞATAY**	1	STRATEJİK UFKUN HARİTALANMASI: UZAY GÜVENLİĞİ ALANINA BİBLİYOMETRİK BİR YAKLAŞIM	Dr. Öğr. Üyesi Deniz ALCA Doç. Dr. Mehmet KIRLIOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Abdül Samet ÇELİKÇİ
		2	TÜRKİYE'DE SİYASET BİLİMİ ALANINDA "YENİ SAĞ" ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALARIN VOSVIEWER İLE BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi Abdül Samet ÇELİKÇİ Doç. Dr. Mehmet KIRLIOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Deniz ALCA
		3	BÜYÜKŞEHİR BELEDİYELERİNİN STRATEJİK PLANLARINDAKİ KIRSAL KALKINMA HEDEFLERİNİN İNCELENMESİ: EGE BÜYÜKŞEHİR BELEDİYELERİ ÖRNEĞİ	Prof. Dr. Ahmet UÇAR Prof. Dr. Uluç ÇAĞATAY
		4	TÜRKİYE'DE BÜYÜKŞEHİR STATÜSÜNDE OLMAYAN İL BELEDİYELERİNİN VİZYON İFADELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Prof. Dr. Uluç ÇAĞATAY Prof. Dr. Ahmet UÇAR
		5	YEREL YÖNETİMLERDE YAPAY ZEKA KULLANIMININ ULUSLARARASI KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Doç.Dr. İsmail GÜNEŞ Emine KÜÇÜK AYDIN
		6	THE PLACE OF THE CONCEPT OF POWER AND THE INFLUENCE OF LEADERSHIP IN PUBLIC DIPLOMACY: THE CASE OF DONALD TRUMP	MA Student, İREM ATAŞ
		7	İŞLETME PERSPEKTİFİNDEN YEREL YÖNETİMLERDE İNSAN KAYNAKLARI YÖNETİMİ: KAVRAMSAL BİR DERLEME	Abdullah Nuri ARSLAN
		8	AKP'NİN İDEOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ: KONVANSİYONEL MUHAFAZAKARLIKTAN MİLLİ MUHAFAZAKARLIĞA	ARAŞ.GÖR.DR. İLTERİŞ ERGUN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Assist. Prof. Dr. Zülküf KILIÇ**	1	ATAOL BEHRAMOĞLU'NUN "OKYANUSLA İLK KARŞILAŞMA" ADLI KİTABINDA NİTELEME SIFATI VE SIFAT FİİLLERLE KURULAN YAPILARIN ŞİİR DİLİNE ETKİSİ	Öğr. Gör. Hilal TAMTÜRK
		2	ÇOCUK EDEBİYATINDA BENLİK İNŞASI: ORADA MISIN? BENİM MARGARET	Arş. Gör. F. Yağmur YEĞİN
		3	The Hidden Meanings Of Turkish Reduplications: An Etymological Analysis	Dr. Öğr. Üyesi. Ali Koç
		4	FOOTBALL CLUBS' NAMING PRACTICES: THE CASE OF ELAZIĞ PROVINCE	Dr. Öğr. Üyesi. Ali Koç Doç. Dr. Muhammed Bahadır Sandıkçı
		5	THE LİNGUİSTİC MECHANİSM AND FUNCTİONİNG OF THE POSSESSİVE SYSTEM İN TURKMEN TURKİSH	Hatice BELENLİ Doç. Dr. Meriç GÜVEN
		6	THE DIALECTIC OF HUMAN AND NATURE IN DIVAN POETRY: AN ECO-CRITICAL READING AND RE-EVALUATION IN THE CONTEXT OF CONTEMPORARY ENVIRONMENTAL ETHICS	Assist. Prof. Dr. Zülküf KILIÇ
		7	WOMEN'S REPRESENTATION AND THE PERFORMATIVE CONSTRUCTION OF GENDER IN DİVAN POETRY: A FEMINIST CRITICAL READING	Assist. Prof. Dr. Zülküf KILIÇ
		8	THE SPATIALIZATION OF TIME AND THE TEMPORALIZATION OF SPACE IN DIVAN POETRY: AN EXAMINATION OF THE APPLICABILITY OF THE CONCEPT OF CHRONOTOPE TO CLASSICAL TURKISH POETRY	Assist. Prof. Dr. Zülküf KILIÇ

Hatice Belenli Sevra hocanın salonunda sunum yapacak .

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Karim Belkacem,**	1	ISLAMIC FINANCE CONTRACTS AND SHARIA COMPLIANCE IN SAUDI ARABIAN COMMERCIAL LAW	Prof. Dr. Abdullah Al-Saud, Dr. Fatima Al-Ghamdi, Khalid Al-Mansour
		2	DATA PROTECTION REGULATIONS AND CYBERSECURITY CHALLENGES IN THE KINGDOM OF SAUDI ARABIA	Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Qahtani, Sara Al-Harbi
		3	WOMEN'S RIGHTS EVOLUTION UNDER GUARDIANSHIP SYSTEM REFORMS IN SAUDI FAMILY LAW	Dr. Laila Al-Otaibi, Mohammed Al-Sharif, Prof. Dr. Huda Al-Ghanmi
		4	CONSTITUTIONAL REFORMS AND PUBLIC LAW CHALLENGES IN POST-INDEPENDENCE ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Karim Belkacem, Yacine Hadji
		5	INTERNATIONAL HUMAN RIGHTS LAW IMPLEMENTATION IN ALGERIAN DOMESTIC JURISPRUDENCE	Dr. Nadia Zerhouni, Samir Lounis, Amina Boualem
		6	COMMERCIAL ARBITRATION LAW REFORM AND FOREIGN INVESTMENT PROTECTION IN ALGERIA	Prof. Dr. Ahmed Larbi, Fatima Zerrouki
		7	CROSS-BORDER DATA FLOWS AND CYBERSECURITY REGULATION IN LEBANESE FINANCIAL SECTOR	Assoc. Prof. Dr. Elie Salem, Dr. Nadia Khoury, Michel Aoun
		8	REFUGEE LAW CHALLENGES AND NON-REFOULEMENT PRINCIPLE IN LEBANESE JURISPRUDENCE	Dr. Carla Haddad, Rami Nasr, Assis. Prof. Dr. Lina Hayek
		9	ANTI-MONEY LAUNDERING REGULATIONS AND TERRORIST FINANCING PREVENTION IN LEBANON	Prof. Dr. Antoine Habchi, Sarah El-Khoury

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Samir Lounis**	1	STRATEGIC ALLIANCES BETWEEN SERBIAN MANUFACTURING FIRMS AND GERMAN AUTOMOTIVE SUPPLIERS	Prof. Dr. Milan Petrovic, Dr. Ana Jovanovic, Marko Stanisic
		2	DIGITAL MARKETING TRANSFORMATION IN SERBIAN RETAIL SECTOR POST-PANDEMIC RECOVERY	Assoc. Prof. Dr. Jelena Radovic, Nikola Vukovic
		3	ESG INVESTMENT FRAMEWORKS AND FIRM VALUATION IN BELGRADE STOCK EXCHANGE	Dr. Stefan Markovic, Ivana Petrovic, Luka Djordjevic
		4	FAMILY BUSINESS SUCCESSION PLANNING CHALLENGES IN ALGERIAN MANUFACTURING SECTOR	Prof. Dr. Karim Belkacem, Nadia Zerhouni
		5	ISLAMIC FINANCE INNOVATIONS FOR SME FINANCING IN ALGERIAN POST-PANDEMIC RECOVERY	Assoc. Prof. Dr. Samir Lounis, Yassine Amrani, Amina Bouzid
		6	CIRCULAR ECONOMY IMPLEMENTATION IN ALGERIAN TEXTILE AND APPAREL INDUSTRY	Dr. Farid Benali, Soumia Haddad
		7	DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES FOR EGYPTIAN SMES IN POST-PANDEMIC ECONOMY	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Dr. Fatima Hassan, Omar Khalil
		8	SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT MODELS IN EGYPT'S RED SEA RESORTS	Assoc. Prof. Dr. Nour El-Din Mahmoud, Sara Ahmed
		9	BLOCKCHAIN APPLICATIONS IN EGYPTIAN AGRICULTURAL SUPPLY CHAIN TRANSPARENCY	Dr. Mohamed Salem, Assis. Prof. Dr. Layla Karim, Hassan El-Badry

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Garba**	1	EFFECTS OF SOIL MICROPLASTICS ON EARTHWORM REPRODUCTION AND COMMUNITY DYNAMICS IN SERBIAN AGRICULTURAL FIELDS	Prof. Dr. Milan Petrovic, Dr. Ana Jovanovic, Stefan Radovic
		2	CARBON SEQUESTRATION POTENTIAL OF AGROFORESTRY SYSTEMS IN VOJVODINA PLAIN SOILS	Assoc. Prof. Dr. Jelena Lukic, Marko Nesic
		3	BIOSORPTION OF HEAVY METALS FROM MINE TAILINGS USING SERBIAN NATIVE BACTERIAL CONSORTIA	Dr. Ivana Petrovic, Nikola Vukovic, Tamara Stankovic
		4	IMPACT OF URBAN EXPANSION ON FERTILITY STATUS OF LAGOS ISLAND COASTAL SOILS	Prof. Dr. Chukwuma Okeke, Adebayo Ogunleye
		5	PHYTOREMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED DELTA SOILS USING NIGERIAN INDIGENOUS HYDROCARBON-TOLERANT PLANTS	Dr. Fatima Yusuf, Emmanuel Achu, Chioma Nwosu
		6	CHARACTERIZATION AND MANAGEMENT OF SALT-AFFECTED SOILS IN BORNO STATE IRRIGATED FARMLANDS	Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Garba, Aisha Mohammed
		7	MICROBIAL ENHANCEMENT OF PHOSPHORUS AVAILABILITY IN PAKISTANI ARID ZONE CALCAREOUS SOILS	Prof. Dr. Khalid Mahmood, Amina Khan, Dr. Faisal Shahzad
		8	EFFECTS OF CONSERVATION AGRICULTURE ON SOIL QUALITY INDICATORS IN PUNJAB RICE-WHEAT SYSTEMS	Sadia Aslam, Assoc. Prof. Dr. Muhammad Iqbal
		9	RECLAMATION OF SALT-AFFECTED SOILS THROUGH ORGANIC AMENDMENTS IN SINDH PROVINCE	Dr. Zahra Ali, Hassan Raza
		10	NUTRIENT DYNAMICS AND LEACHING LOSSES UNDER INTENSIVE VEGETABLE PRODUCTION IN KARACHI PERI-URBAN SOILS	Naveed Akhtar, Prof. Dr. Safdar Ali, Mehwish Jabeen
		11	BIOCHAR APPLICATION EFFECTS ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM PAKISTANI RICE PADDIES	Assis. Prof. Dr. Rabia Sultana, Umar Farooq

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Helmut Becker,**	1	BYZANTINE-GEORGIAN DIPLOMATIC ALLIANCES AND THEIR ROLE IN CAUCASUS POWER DYNAMICS	Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Levan Beridze, Mariam Kapanadze
		2	MEDIEVAL GEORGIAN CHRONICLERS AND THE CONSTRUCTION OF NATIONAL IDENTITY NARRATIVES	Assoc. Prof. Dr. Tamar Lomidze, Giorgi Gelashvili
		3	OTTOMAN-GEORGIAN BORDERLAND INTERACTIONS IN THE 17TH CENTURY CAUCASUS	Dr. Irakli Chikvaidze, Assis. Prof. Dr. Lali Tsintsadze
		4	PRUSSIAN MILITARY REFORMS AND GERMAN NATIONALISM IN THE NAPOLEONIC ERA	Dr. Friedrich Wagner, Assoc. Prof. Dr. Lena Hoffmann
		5	WEIMAR REPUBLIC CULTURAL POLICIES AND THE BAUHAUS MOVEMENT	Prof. Dr. Helmut Becker, Sophie Krause, Dr. Markus Lehmann
		6	COLD WAR TAJIKISTAN: SOVIET MODERNIZATION AND LOCAL RESISTANCE STRATEGIES	Assoc. Prof. Dr. Farrukh Rahimov, Dilnoza Karomatova
		7	PERSIANATE CULTURAL INFLUENCES ON PRE-MODERN TAJIK INTELLECTUAL TRADITIONS	Dr. Shirin Azimova, Prof. Dr. Rustam Burhonov
		8	SOVIET HYDROPOWER PROJECTS AND ECOLOGICAL DISASTERS IN TAJIK PAMIR REGION	G ulnoza Sobirova, Dr. Javohir Ismoilov, Assis. Prof. Dr. Nigora Rahmonova
		9	THE HOLY ROMAN EMPIRE'S ECONOMIC POLICIES AND HANSEATIC LEAGUE EXPANSION	Prof. Dr. Klaus Müller, Anna Schmidt

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Lena Schmidt,**	1	COMMUNITY-BASED TOURISM DEVELOPMENT AND RURAL REVITALIZATION IN GEORGIA'S HIGH CAUCASUS REGION	Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Levan Beridze, Mariam Kapanadze
		2	YOUTH EMPOWERMENT PROGRAMS AND SOCIAL COHESION IN POST-SOVIET GEORGIA	Assoc. Prof. Dr. Tamar Gelashvili, Giorgi Chikhradze
		3	WOMEN'S COOPERATIVES AND GENDER EQUITY IN GEORGIAN AGRICULTURAL COMMUNITIES	Dr. Lasha Tsintsadze, Prof. Dr. Maka Lomidze, Ana Japaridze
		4	MIGRATION RETURNEE INTEGRATION AND REGIONAL DEVELOPMENT IN RURAL GERMANY	Prof. Dr. Hans Berger, Felix Neumann
		5	INTERGENERATIONAL LEARNING FOR SUSTAINABLE COMMUNITY FORESTRY IN GERMANY	Dr. Lena Schmidt,
		6	URBAN COMMUNITY GARDENS AND SOCIAL INCLUSION IN MULTICULTURAL GERMAN NEIGHBORHOODS	Assis. Prof. Dr. Amina Hassan, Markus Klein
		7	RURAL DIGITAL INFRASTRUCTURE AND ENTREPRENEURIAL DEVELOPMENT IN TAJIKISTAN	Prof. Dr. Farrukh Saidov, Nigora Rahimova
		8	WOMEN'S HANDICRAFT COOPERATIVES AND CULTURAL PRESERVATION IN TAJIK PAMIR	Dr. Gulnora Ismoilova, Aziza Nazarova, Farhod Rahmonov
		9	COMMUNITY HYDROPOWER MICROGRIDS FOR ENERGY ACCESS IN TAJIKISTAN'S MOUNTAIN VILLAGES	Assoc. Prof. Dr. Sherali Mirzoev, Dilnoza Ubaidullaeva
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Giorgi Khutsishvili,**	1	BLACK SEA REGIONAL SECURITY DYNAMICS AND GEORGIA'S STRATEGIC POSITIONING IN NATO-EU ALIGNMENT	Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Levan Beridze, Mariam Kapanadze
		2	ENERGY DIPLOMACY AND PIPELINE POLITICS: GEORGIA'S ROLE IN EU-RUSSIA ENERGY DIVERSIFICATION	Assoc. Prof. Dr. Irakli Gelashvili, Tamar Lomidze
		3	RUSSIAN HYBRID WARFARE TACTICS AND GEORGIA'S CYBERSECURITY RESILIENCE BUILDING MEASURES	Dr. Giorgi Khutsishvili, Assis. Prof. Dr. Salome Chikvaidze
		4	QATAR'S MEDIATION DIPLOMACY IN MIDDLE EAST CONFLICT RESOLUTION INITIATIVES	Prof. Dr. Ahmed Al-Thani, Fatima Rahman
		5	GCC ECONOMIC DIVERSIFICATION STRATEGIES AND QATAR'S NATIONAL VISION 2030 IMPLEMENTATION	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Mansoori, Noor Hassan
		6	QATARI SOFT POWER PROJECTION THROUGH SPORTS DIPLOMACY AND FIFA WORLD CUP LEGACY	Dr. Sara Al-Khalifa, Omar Bin Nasser
		7	CENTRAL ASIAN WATER DIPLOMACY AND TAJIKISTAN'S REGIONAL HYDROPOWER LEADERSHIP	Prof. Dr. Farrukh Saidov, Dilnoza Rahimova
		8	TAJIKISTAN'S POSITION IN BELT AND ROAD INITIATIVE CONNECTIVITY CORRIDORS	Assoc. Prof. Dr. Rustam Juraev, Nigora Karomatova, Azizullo Hayitov
		9	AFGHANISTAN STABILITY IMPACTS ON TAJIKISTAN NATIONAL SECURITY FRAMEWORKS	Dr. Parvina Sobirova, Assis. Prof. Dr. Sherali Mirzoev
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Karim El-Fassi**	1	CLIMATE CHANGE POLICY IMPLEMENTATION CHALLENGES IN TANZANIA'S COASTAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Amina Juma, Elias Kweka
		2	YOUTH POLITICAL PARTICIPATION AND DEMOCRATIC CONSOLIDATION IN POST-ELECTION TANZANIA	Assoc. Prof. Dr. Hamisi Mponda, Zawadi Nyerere
		3	FOREIGN AID DEPENDENCY AND POLICY AUTONOMY IN TANZANIA'S HEALTH SECTOR REFORMS	Dr. Fatma Kikoti, Juma Ramadhani
		4	TRANSITIONAL JUSTICE MECHANISMS AND NATIONAL RECONCILIATION IN POST-ARAB SPRING TUNISIA	Prof. Dr. Sami Ben Romdhane, Nadia Cherif
		5	WATER DIPLOMACY AND TRANSBOUNDARY GOVERNANCE IN THE MAGHREB REGION: TUNISIAN PERSPECTIVE	Assoc. Prof. Dr. Karim El-Fassi, Laila Zouari
		6	EU-TUNISIA MOBILITY PARTNERSHIP: MIGRATION GOVERNANCE OR NEO-COLONIALISM?	Dr. Hassen Zghal, Mariem Trabelsi
		7	MORROCAN FOREIGN POLICY IN SAHEL COUNTRIES: COUNTER-TERRORISM OR REGIONAL HEGEMONY?	Prof. Dr. Ahmed El-Khatib, Fatima Zahra
		8	WOMEN'S POLITICAL EMPOWERMENT THROUGH PARITY LAWS IN MOROCCAN LOCAL GOVERNANCE	Assoc. Prof. Dr. Nadia El-Fassi, Youssef Bennani
		9	ENERGY TRANSITION POLITICS AND PHOSPHATE DEPENDENCY IN MOROCCAN DEVELOPMENT STRATEGY	Dr. Karim Lahlou, Salma El-Ouardi
		10	ASEAN CENTRALITY AND MALAYSIAN FOREIGN POLICY IN SOUTH CHINA SEA DISPUTES	Prof. Dr. Abdul Rahman Embong, Nurul Ain
		11	ISLAMIC GOVERNANCE MODELS AND SECULAR RESISTANCE IN CONTEMPORARY MALAYSIAN POLITICS	Assoc. Prof. Dr. Syed Farid Alatas, Aishah Rohani

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Zuberi Ramadhani**	1	INTEGRATING TASK-BASED LANGUAGE TEACHING WITH DIGITAL STORYTELLING FOR ADVANCED EFL PROFICIENCY IN HUNGARIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Katalin Szabó, Dr. István Nagy, Eszter Kovács
		2	NEUROSCIENCE-INFORMED VOCABULARY ACQUISITION STRATEGIES FOR HUNGARIAN ADOLESCENT LEARNERS OF ENGLISH	Assoc. Prof. Dr. Zsolt Hermann, Laura Tóth
		3	CLIL METHODOLOGY IMPLEMENTATION CHALLENGES AND SUCCESS FACTORS IN HUNGARIAN STEM SUBJECTS	Dr. Anikó Balogh, Péter Szabó, Réka Kovács
		4	MOBILE-ASSISTED LANGUAGE LEARNING EFFECTIVENESS AMONG RURAL TANZANIAN SECONDARY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Amina Hassan, Juma Mkude
		5	CODE-SWITCHING PATTERNS AND THEIR PEDAGOGICAL IMPLICATIONS IN TANZANIAN EFL CLASSROOMS	Dr. Fatma Said, Elias Nkya, Zawadi Mushi
		6	COMMUNICATIVE LANGUAGE TEACHING ADAPTATIONS FOR MULTILINGUAL TANZANIAN PRIMARY SCHOOLS	Dr. Zuberi Ramadhani
		7	FLIPPED CLASSROOM MODELS ENHANCING CRITICAL THINKING IN INDIAN ENGINEERING ESL PROGRAMS	Assoc. Prof. Dr. Priya Sharma, Rahul Mehra
		8	CORPUS-BASED APPROACHES TO BUSINESS ENGLISH VOCABULARY INSTRUCTION AT INDIAN B-Schools	Dr. Anjali Desai, Vikram Reddy
		9	GAMIFICATION STRATEGIES IMPROVING SPEAKING FLUENCY AMONG RURAL INDIAN UNDERGRADUATES	Neha Sanjay
		10	INTERCULTURAL COMPETENCE DEVELOPMENT THROUGH VIRTUAL EXCHANGE PROGRAMS IN INDIAN EFL CONTEXTS	Prof. Dr. Meera Joshi, Rohan Mehra, Anjali Singh
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Aralık / Dec 24, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Anjali Rao**	1	DIGITAL MEDIA LITERACY PROGRAMS AND THEIR EFFECTIVENESS IN COMBATING FAKE NEWS AMONG HUNGARIAN UNIVERSITY STUDENTS	Prof. Dr. István Kovács, Dr. Eszter Nagy, Balázs Tóth
		2	SOCIAL MEDIA POLARIZATION DYNAMICS DURING NATIONAL ELECTIONS IN HUNGARY	Assoc. Prof. Dr. Zsófia Szabó, Tamás Herczeg
		3	THE ROLE OF PUBLIC SERVICE BROADCASTING IN COUNTERING POPULIST DISCOURSE IN CONTEMPORARY HUNGARY	Dr. Kinga Molnár, Gábor Farkas, Prof. Dr. András Balogh
		4	MOBILE PHONE COMMUNICATION PATTERNS AND SOCIAL CONNECTIVITY IN RURAL TANZANIA COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Amina Hassan, Juma Kweka
		5	RADIO LISTENERSHIP TRENDS AND INFORMATION ACCESS DURING COVID-19 IN URBAN TANZANIA	Dr. Fatma Zuberi, Elias Nchimbi, Assis. Prof. Dr. Rehema Mushi
		6	YOUTH PARTICIPATION IN DIGITAL ACTIVISM FOR CLIMATE JUSTICE IN TANZANIA	Lucas Mgaya, Prof. Dr. Salma Mbaga
		7	WHATSAPP MISINFORMATION CAMPAIGNS TARGETING ELECTIONS IN NORTHERN INDIA	Dr. Anjali Rao
		8	BOLLYWOOD'S GLOBAL SOFT POWER THROUGH OTT PLATFORMS AND DIASPORA AUDIENCES	Rahul Mehra, Dr. Neha Sanjay
		9	RURAL BROADBAND DEPLOYMENT AND DEVELOPMENT COMMUNICATION IN INDIA'S HINTERLANDS	Prof. Dr. Meera Joshi, Karan Desai

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr.Öğr.Üyesi İlkay Sibel KERVANCI	1	BARAJ YÖNETİMİ İÇİN SİSTEM DİNAMİĞİ UYGULAMASI	Doç.Dr.Şahin İNANÇ Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS
		2	YEŞİL ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ İÇİN GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI	Dr.Onur Mesut ŞENARAS Doç.Dr.Şahin İNANÇ Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS
		3	TURNAROUNDAI: Real-Time Analysis of Apron Turnaround Processes with Multi-Camera, Sensor Fusion, and AI Algorithms	Gamze Öztürk
		4	IOT BASED INTELLIGENT PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEM FOR OCCUPANCY PREDICTION USING IN VEHICLE AIR POLLUTION DATA	Sn. Eng. Seren ÇARIKCI Dr. Melek ESEMEN ERTAŞ
		5	MULTIDISCIPLINARY APPROACHES TO THE PREVENTABLE STAGES OF COPD: AI-DRIVEN EARLY RISK PREDICTION, ENVIRONMENTAL AND BEHAVIORAL ANALYSIS, AND DIGITAL HEALTH ECOSYSTEMS	Assistant Professor Denizhan DEMİRKOL
		6	AI-ASSISTED TUBERCULOSIS DIAGNOSIS IN RESOURCE-CONSTRAINED REGIONS: PERSPECTIVES ON ACCESSIBILITY, INEQUITY, AND SAFETY	Assistant Professor Denizhan DEMİRKOL
		7	EĞİTİMİN MERKEZİYETSİZLEŞTİRİLMESİ: DİPLOMA VE TRANSKRİPT YÖNETİMİNDE GÜVEN VE VERİMLİLİK	Dr.Öğr.Üyesi İlkay Sibel KERVANCI
		8	SHORT-TERM ELECTRICITY CONSUMPTION FORECASTING USING XGBOOST WITH CALENDAR FEATURES	Dr.Öğr.Üyesi İlkay Sibel KERVANCI
			YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ÇİMENTO FABRİKALARINDA HAVA KİRLİLİĞİNİN TESPİT EDİLMESİ VE ANALİZİ	Ar-Ge Mühendisi Berkay ÖZDEMİR Doç.Dr. Burak TANYERİ ARŞ.GÖR. CEVHER KÜRŞAT MACİT

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Dr. Aysel AKBENİZ**	1	THE ROLE OF MOTHER UNITS IN MEETING POSTPARTUM PSYCHOSOCIAL NEEDS	Assoc. Dr. Aysel AKBENİZ
		2	KATETER İLİŞKİLİ ÜRİNER SİSTEM ENFEKSİYONLARINDA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI	Prof. Dr. Gülay İpek Çoban Hemşire Gül Çiçekçi
		3	KAFA İÇİ BASINÇ ARTIŞINDA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI	Prof. Dr. Gülay İpek Çoban Hemşire Gül Çiçekçi
		4	CERRAHİ TAKIMDA PSİKOLOJİK GÜVENLİK: HATA BİLDİRİMİ	Duygu ALTUNOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Hatice ERDOĞAN
		5	HASTANEDE YATAN 3-6 YAŞ GRUBU KRONİK HASTALIĞI OLAN ÇOCUKLARIN HASTANEDEKİ AKTİVİTELERİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ	Cansever Kaya Şenay Çetinkaya
		6	THE STATUS OF THE NURSES WORKING IN THE FIELD OF CHILD HEALTH AND DISEASES IN IMPLEMENTING THEIR ROLES AND FUNCTIONS, AND THE FACTORS AFFECTING THIS	Şenay Çetinkaya
		7	DİJİTAL EKRAN BAĞIMLILIĞININ SAĞLIK İNANÇ MODELİNE UYARLANMASI	Doç. Dr. Semra KOCATAŞ Şule SEVİMLİGÜL Esra ÖZ
		8	THE IMPACT OF URINARY INCONTINENCE ON QUALITY OF LIFE, SURGICAL TREATMENT, AND POSTOPERATIVE NURSING APPROACH	Irmak ŞAHİN Prof.Dr. Şenay ÜNSAL ATAN
			PREVENTION AND PROTECTION OF URINARY INCONTINENCE IN THE POSTMENOPAUSAL PERIOD: Lifestyle Changes, and Behavioral Approaches	Nur Efşan KARAKILIÇ Prof. Dr. Şenay ÜNSAL ATAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Profesör Mustafa KÜÇÜKÖNER**	1	BUCAK VE ÇEVRE KÖYLERDE DOKUNAN HALI SECCADELER	Dr. Öğr.Üyesi Ayşe YILDIRIM
		2	GÜNEYBATI ANADOLU YÖRÜK YERLEŞİMLERİNDE HAVSIZ (KİRKİTLİ) SECCADE	Dr. Öğr.Üyesi Ayşe YILDIRIM
		3	TOURNEFORT'UN ANADOLU TOPRAKLRAINDA YAPTIĞI GRAVÜRLERİN SANATSAL ANALİZLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Hava KÜÇÜKÖNER Profesör Mustafa KÜÇÜKÖNER
		4	SEMERKAND'DA BULUNAN TARİHİ YAPILARINA AİT GÜNÜMÜZ GRAVÜRLERİNİN SANATSAL ANALİZLERİ	Profesör Mustafa KÜÇÜKÖNER Dr. Öğr. Üyesi Hava KÜÇÜKÖNER
		5	ENKAUSTİK TEKNİĞİ'NİN DÜNÜ BUGÜNÜ	Doç. Dr. Aysun CANÇAT
		6	THE CONCEPTUAL AND SPATİAL USE OF THE COLOR RED İN CONTEMPORARY ART PRACTİCES	Doç. Dr. Tülay GÜMÜŞER Esra ERDOĞAN KARAGÖZ
		7	OP-ART (OPTİK SANAT) İLKELERİNİN MEKAN GRAFİĞİ UYGULAMALARINDA KİNETİK ALGI YARATIMI	Yüksek Lisans Öğrencisi Berkan DERYAL Dr. Öğr. Üyesi Burak YAVUZYILMAZ
		8	SEMIOTIC ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL STORYTELLING IN THE THE LAST OF US SERIES (PART I–II) VIDEO GAMES	Suida DURSUN Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tekinalp GÜREKEN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assist. Prof. Ali Rauf KARATAŞ**	1	THE COMPOSITION OF FOOD INFLATION: EVIDENCE FROM ARGENTINA	Dr. Gülşah Adam
		2	INFLATION AND WELFARE LOSS: AN ANALYSIS OF CONSUMPTION EXPENDITURES BY INCOME QUANTILES IN TÜRKİYE, 2004–2024	Doç. Dr. Mustafa ZUHAL Dr. Öğr. Üy. Dilek TOKEL
		3	TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM VE TOPLUMSAL CİNSİYET: TÜRKİYE'DE TARIMDA MAKİNELEŞMENİN TARIMDAKİ KADIN İSTİHDAMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Kazım SAKA Özgür ÖZAYDIN
		4	TÜRKİYE'DE TARIMSAL İSTİHDAMIN İHRACAT PERFORMANSINA ETKİSİ: YAPISAL KIRILMA ALTINDA ARDL ANALİZİ	Özgür ÖZAYDIN Anıl DAĞDEMİR
		5	DIŞ TİCARET ANALİZLERİNDE NOMİNAL VE REEL DEĞİŞKEN KULLANIMI: KARŞILAŞTIRMALI BİR YAKLAŞIM	Dr. Ferdi AKPİLİÇ
		6	ASYMMETRIC RESPONSES OF YOUTH UNEMPLOYMENT TO ECONOMIC GROWTH, EXPORTS, AND INFLATION IN TURKEY: A NARDL APPROACH	Assist. Prof. Ali Rauf KARATAŞ Assoc. Prof. Ahmet Tayfur AKCAN
		7	EXCHANGE RATE SHOCKS AND PURCHASING POWER PARITY: A PERIODIC ANALYSIS FOR TÜRKİYE, 1995–2025	Assist. Prof. Ali Rauf KARATAŞ
		8	Neo-Fisher Hipotezi Üzerine Bir Literatür Taraması	Neslihan Bünül

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Doç. Dr. Muharrem DOĞAN**	1	THE IMPACT OF NUCLEAR WEAPONS ON THE MIDDLE EAST PEACE	Dr. Sibel Elif ÖZDİLEK
		2	ÖTEKİNİN SİYASETİ: ULUSLARARASI DÜZEN VE FİLİSTİNİN KONUMLANDIRILMASI	Doç. Dr. Muharrem DOĞAN
		3	PAN-TÜRKİZMİN TARİHSEL DÖNÜŞÜMÜ VE TÜRK DEVLETLERİ TEŞKİLATININ KURUMSAL ÇERÇEVESİ	Doç. Dr. Muharrem DOĞAN
		4	THE U-8 GYUMRI INCIDENT IN TURKISH FOREIGN POLICY	Prof. Dr. Ersin MÜEZZİNOĞLU
		5	BIR ULUSLARARASI ÖRGÜT OLARAK İSLAM İŞBIRLİĞİ TEŞKİLATI: YAPI, İŞLEYIŞ VE ETKİNLİK	Doktora Öğrencisi Safa MAHMOOD Doç. Dr. Neşe YILDIZ
		6	AZERBAYCAN CUMHURİYETİ'NİN İSLAM İŞBİRLİĞİ TEŞKİLATIN'DAKİ ROLÜ	Doktora Öğrencisi Abbasali KHUDUZADE Doç. Dr. Neşe YILDIZ
		7	INTERNATIONAL EDUCATION PARTNERSHIPS AND SOFT POWER COMPETITION IN THE TURKESTAN REGION	Dr. Ersoy Yılmaz DİNİZ Dilara Cansın KEÇİALAN
		8	GÜVENLİKLEŞTİRME PERSPEKTİFİNDEN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE GÜVENLİK	Adem YILMAZ Prof. Dr. Ömer UĞUR
			AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI: STRATEJİK ÇERÇEVE VE KÜRESEL ETKİLERİ	Prof. Dr. Ömer UĞUR Doç. Dr. Candan YILMAZ UĞUR
			SINIRLARDA DİJİTAL BAN-OPTİKON: GÖZETİM TEKNOLOJİLERİNİN GERİ İTME MEKANİZMALARINDAKİ İKİLİ ROLÜ	Arş. Gör. Dr. Yusuf FİDAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Muhammet KUSAN**	1	SPORCULARDA ENERJİ DENGESİ VE MİKRO BESİN ÖĞELERİ	Lisans Öğrencisi, Gamze KILIÇASLAN Arş. Gör., Polat YÜCEDAL Prof. Dr. Vedat ÇINAR
		2	KETOJENİK DİYETİN FİZİKSEL AKTİVİTEYE ETKİSİ	Lisans Öğrencisi, Gamze KILIÇASLAN Arş. Gör., Polat YÜCEDAL Prof. Dr. Vedat ÇINAR
		3	AI-DRİVEN SPORTS MANAGEMENT: DATA-DRİVEN DECİSİON-MAKİNG PROCESSES	İsmet SEVAL Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ Prof. Dr. Talha MURATHAN
		4	SPORTS MANAGEMENT İN THE AGE OF ARTİFİCİAL INTELLİGENCE AND THE JUSTİCE PARADOX	İsmet SEVAL Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ Prof. Dr. Talha MURATHAN
		5	REKREATİF AYAKTA KÜREK SÖRFÜ (Stand up Paddle Boarding-SUP) EĞİTİMİNE KATILAN YETİŞKİN BİREYLERİN KATILIM MOTİVLERİ	Prof.Dr. Nurper ÖZBAR Prof.Dr.Müberra ÇELEBİ Doç.Dr.Cüneyt TAŞKIN Doç.Dr.Şengül DEMİRAL Dr.Öğr.Üyesi Aykut AKSU Dr.Öğr.Üyesi Şerife Gamze ÜLKER
		6	SPORCULARDA KARİYER SONLANMA KAYGISININ SPORDA ETKİLİ KARAR VERME ÜZERİNE ETKİSİ	Zeynep KAÇAR Dr. Muhammet KUSAN Prof. Dr. Soner ÇANKAYA
		7	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNİN SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIĞI İLE AKADEMİK KAYGI DÜZEYLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ	Zehra Eylül NARİN Dr. Muhammet KUSAN Prof. Dr. Soner ÇANKAYA
		8	VÜCUT GELİŞTİRME SPORCULARINDA SPOR BESİN TAKVİYE İNANCI VE SPORCU DEĞER YÖNELİMİNİN İNCELENMESİ	Damla AKSAMAZ Dr. Muhammet KUSAN
			VÜCUT GELİŞTİRME SPORCULARINDA SPOR BESİN TAKVİYE İNANCI VE SPORCU DEĞER YÖNELİMİNİN İNCELENMESİ	Melike BAYRAKDAR Dr. Muhammet KUSAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr. Seval ÖZGEL FELEK**	1	BÜKÜM MERKEZİ MAKİNESİNDE BÜKÜM PARÇASININ AKIM DÖNGÜSÜYLE KONTROLÜ VE KARŞILAŞTIRILMASI	Yüksek Elektrik-Elektronik Mühendisi Emirhan Toprak
		2	A NOVEL BIDIRECTIONAL FLOATING INTERLEAVED QUASI-Z-SOURCE DC-DC CONVERTER	Furkan AKAR
		3	EMERGING DEVELOPMENTS AND ADVANCES IN SOLAR PHOTOVOLTAIC PANEL CLEANING TECHNOLOGIES	Arş. Gör. Dr. Abdurrahman YAVUZDEĞER
		4	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SLOT TYPE ON THE EFFICIENCY OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATORS FOR WIND TURBINE APPLICATIONS	Arş. Gör. Dr. Abdurrahman YAVUZDEĞER
		5	PARAMETRİK TASARIM VE DİJİTAL ÖZELLEŞTİRME YAKLAŞIMIYLA TEKİL BİR OTURMA ELEMANININ HESAPLAMALI TASARIMI	Doç. Dr. Seval ÖZGEL FELEK
		6	MODEL SELECTION IN CONTAINER HANDLING FORECASTING: AN APPLICATION TO THE PORTS OF THE AEGEAN REGION	Dr. Elvan DENİZ
		7	PV SİSTEMLERDE DEĞİŞKEN ÇEVRESEL KOŞULLARDA FARKLI MPPT ALGORİTMALARININ PERFORMANS VE SİSTEM STABİLİTESİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Tuğçe ÇEVRİM Tahir YAVUZ
		8	ENGINEERING DIELECTRIC SURFACE AREA IN TRIBOELECTRIC NANOGENERATORS FOR HIGH EFFICIENCY	Assoc. Prof. Dr. Abdulkerim Karabiber Assoc. Prof. Dr. Dursun Öztürk Assoc. Prof. Dr. Muzaffer Aslan

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Mete Han İLMEÇİ**	1	PHASE CHANGE MATERIALS IN BATTERY THERMAL MANAGEMENT SYSTEMS	Burak AKGÜL Dr. İsmail ATA
		2	KATI YAKITLARDA YANMA HIZININ DENEYSEL İNCELENMESİ	Doc.Dr.Hayri YAMAN Mete Han İLMEÇ
		3	GIS APPLICATIONS IN SOLID WASTE COLLECTION AND TRANSFER	Hasan İhsan KALELİ Doç. Dr. Sedat YALÇINKAYA
		4	COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ ARACILIĞIYLA ULAŞIM MODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: KARABÜK İLİ ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Emine Berfin ŞAHİN Dr. Öğr. Üyesi Uğur ACAR
		5	THRUST PERFORMANCE EVALUATION OF TOROIDAL VERSUS CONVENTIONAL PROPELLERS	Mehmet Alperen ANDAÇ Ayhan AKBULUT Dr. İsmail ATA
		6	TEK YÖNLÜ VE İKİ YÖNLÜ EŞLEME YÖNTEMLERİ İLE YÜZER YAPILARIN HİDROELASTİK ANALİZİ	Ömer Faruk AYTEMİZ Serdar Turgut INCE
		7		
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Öğr. Üyesi Meliha Fındık**	1	ERGENLERDE GENİTAL HİJYEN DAVRANIŞLARI VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Nuriye ERBAŞ Duygunur ÇAKIR
			ZOONOSES AND CLIMATE CHANGE	Araş.Gör.Dr. Seda GÖKDEMİR Doç.Dr. Aliye GÜLMEZ SAĞLAM Dr. Öğr. Üyesi Elif ÇELİK
		2	İNFERTİLİTEDE GÖRÜNMEYEN YÜK: DAMGALANMA VE PSİKOSOSYAL SONUÇLARI	Assi. Prof., Demet ÇAKIR Assi. Prof., Emine AKSÜT AKÇAY Lecturer, Arslan SAY
		3	ÖSTROJEN HORMONLARI VE PRENATAL TARAMA TESTLERİNDE KULLANIMLARI	Dr.Öğr.Üyesi Demet ÇAKIR Öğr.Gör. Arslan SAY Dr.Öğr.Üyesi Emine AKSÜT AKÇAY
		4	DIGITAL BURNOUT: A NEW OCCUPATIONAL RISK İN THE DIGITALIZING WORKPLACE	Uzm. Hem. Feyza ACAR Uzm. Hem. Güllü YAZKAN Prof.Dr. Nezihe BULUT UĞURLU Doç.Dr. Fatma BİRGİLİ
		5	THE “STAY-AT-HOME YOUTH” PHENOMENON: SOCİAL WİTHDRAWAL AMONG NEET YOUTH AND THE EFFECTS OF DİGİTAL LİFE ON MENTAL HEALTH	Uzm. Hem. Feyza ACAR Doç.Dr. Fatma BİRGİLİ Uzm. Hem. Güllü YAZKAN Prof.Dr. Nezihe BULUT UĞURLU
		6	INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PERCEIVED STRESS LEVELS AND SOCIAL PARTICIPATION IN UNIVERSITY STUDENTS	Ergoterapist Sümeyra CERAN Dr. Volkan TÜRKMEN
		7	LYMPHEDEMA ASSESSMENT METHODS	Hagar Mahmoud Ali ABOUSHEISHAA Prof. Dr.Özlem ÇİNAR ÖZDEMİR
		8	MULTIMODAL PHYSIOTHERAPY IN CANCER-RELATED LYMPHEDEMA	Assala Obaid Prof. Dr.Özlem Çinar Özdemir
		9	SEPSİSİN TANISINDA YENİLİKLER: İYOBELİRTEÇLERDEN YAPAY ZEKAYA	Dr. Öğr. Üyesi Meliha Fındık
		10	FONKSİYONEL SÜT ÜRÜNLERİ VE KARDİYOVASKÜLER SAĞLIK: YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR	Dr. Selin Elmas
		11	PLANLI DAVRANIŞ KURAMI TEMELLİ AKILCI İLAÇ KULLANIMI YAKLAŞIMI	Doç. Dr. Semra KOCATAŞ Mehmet Nur İMTAN Ahmet Remzi BAYIR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Doç.Dr., SERİR UZUN**	1	KENT PARKLARININ İYİ OLMA HALİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	Prof. Dr. Nurdan ERDOĞAN Eda TOPRAK
		2	MİKROKLİMA DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ: ÖLÇÜM TEKNİKLERİ ve UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI	Prof. Dr. Nurdan ERDOĞAN Bilge TEPELİ
		3	KIYI ALANLARINDA YER ALAN MİLLET BAHÇELERİNİN KULLANIM VE MEMNUNİYET DÜZEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÜNYE BATIPARK MİLLET BAHÇESİ ÖRNEĞİ	Doç.Dr., SERİR UZUN
		4	A COMPREHENSIVE REVIEW ON PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC POLLUTANTS FROM WASTEWATER	Nazli TURKTEN Yunus KARATAS

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Rakesh Sakshi**	1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SILVER-DOPED TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES FOR WATER PURIFICATION	Prof. Dr. Shodmon Safarov Dr. Mahmud Bakhtiyorov
		2	TUNGSTEN OXIDE NANOSHEETS: SYNTHESIS, OPTICAL PROPERTIES, AND GAS SENSING APPLICATIONS	Dr. Nigora Tursunova
		3	GREEN SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES USING DATE PALM EXTRACT: APPLICATIONS IN ANTICANCER THERAPY	Prof. Dr. Salma Youssef Dr. Ayman Hassan Mona El-Adl
		4	MAGNETIC IRON OXIDE NANOPARTICLES FOR ENHANCED MRI CONTRAST AGENTS	Assis. Prof. Dr. Ahmed El-Naggar Dr. Nada Fathy
		5	PREPARATION OF CARBON QUANTUM DOTS FROM WASTE BIOMASS FOR SENSING APPLICATIONS	Dr. Shirin Hosseini Assis. Prof. Dr. Mahsa Azizi Prof. Dr. Razieh Mohammadi
		6	MULTIFUNCTIONAL ZINC OXIDE NANORODS: ANTIMICROBIAL, OPTICAL, AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES	Assis. Prof. Dr. Parviz Bahrami Leila Golestani
		7	NANOCLAY-REINFORCED POLYMER COMPOSITES: IMPROVEMENTS IN MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES	Prof. Dr. Rakesh Sakshi
		8	SYNTHESIS OF GOLD NANORODS FOR TARGETED PHOTOTHERMAL CANCER THERAPY	Dr. Neha Agarwal Assoc. Prof. Dr. Rajesh Singh
		9	DESIGN OF NANOSTRUCTURED SILICA AEROGELS FOR GAS STORAGE AND DELIVERY APPLICATIONS	Dr. Marta Rodríguez
		10	GRAPHENE-BASED NANOCOMPOSITES FOR ELECTROCHEMICAL SENSOR DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Laura Gómez Dr. Daniel Paredes Marina Ruiz Dr. Javier Torres
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Mohammed Hassan,**	1	ADVANCES IN 3D-PRINTED TITANIUM IMPLANTS FOR MAXILLARY RECONSTRUCTION IN CHINESE ORAL SURGERY PATIENTS	Prof. Dr. Zhang Wei, Dr. Liu Fang, Chen Ming
		2	EFFICACY OF NANOHYDROXYAPATITE TOOTHPASTE IN REMINERALIZING EARLY CARIES LESIONS AMONG CHINESE ADOLESCENTS	Assoc. Prof. Dr. Wang Li, Zhao Xin, Dr. Sun Hao
		3	LASER-ASSISTED PERIODONTAL REGENERATION TECHNIQUES FOR CHINESE PATIENTS WITH AGGRESSIVE PERIODONTITIS	Dr. Huang Mei, Li Qiang, Assis. Prof. Dr. Yang Bo
		4	DIGITAL SMILE DESIGN PROTOCOLS FOR ESTHETIC REHABILITATION IN QATARI PRIVATE DENTAL CLINICS	Prof. Dr. Ali Al-Thani, Dr. Sara Khalid
		5	ORTHODONTIC MANAGEMENT OF IMPACTED CANINES USING LOW-DOSE CBCT GUIDANCE IN QATARI ADOLESCENTS	Assoc. Prof. Dr. Mohammed Hassan, Fatima Al-Mansoori
		6	CLINICAL EVALUATION OF BIOCERAMIC SEALERS IN ENDODONTIC RETREATMENT OF INDIAN PATIENTS WITH FAILED ROOT CANAL THERAPY	Prof. Dr. Rajeshwari Nair, Priya Menon
		7	LASER FLUORESCENCE DETECTION AND MINIMALLY INVASIVE MANAGEMENT OF OCCLUSAL CARIES IN INDIAN SCHOOL CHILDREN	Dr. Amit Suresh
		8	ALVEOLAR RIDGE PRESERVATION USING PLATELET-RICH FIBRIN IN IMMEDIATE IMPLANT PLACEMENT FOR INDIAN PATIENTS	Assoc. Prof. Dr. Karan Malhotra, Anjali Desai
		9	DIGITAL WORKFLOWS FOR FULL-ARCH ZIRCONIA PROSTHESES IN COMPLEX INDIAN EDENTULOUS PATIENTS	Dr. Rohit Sharma, Meera Joshi, Prof. Dr. Vikrant Jadhav
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Gulnara Zhumadilova,**	1	EPIDEMIOLOGICAL PATTERNS OF CARDIOVASCULAR DISEASES AMONG URBAN POPULATIONS IN ALMATY	Prof. Dr. Aigerim Sarsenova, Dr. Bekzat Nurpeisov, Aidana Tolegenova
		2	NUTRITIONAL STATUS ASSESSMENT AND INTERVENTION STRATEGIES FOR RURAL CHILDREN IN EASTERN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Zhumadilova, Yerzhan Kairbekov
		3	MENTAL HEALTH CHALLENGES AND TELEHEALTH SOLUTIONS FOR POST-PANDEMIC ADOLESCENTS IN NUR-SULTAN	Dr. Dana Alimova, Nurlan Bekbolat, Assis. Prof. Dr. Saltanat Myrzakhmetova
		4	TRADITIONAL EGYPTIAN HERBAL MEDICINE INTEGRATION INTO DIABETES MANAGEMENT PROTOCOLS	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Dr. Fatima Hassan
		5	HEPATITIS C ELIMINATION STRATEGIES THROUGH COMMUNITY SCREENING IN EGYPTIAN RURAL PROVINCES	Assoc. Prof. Dr. Mohamed Khalil, Nour El-Din
		6	MATERNAL MORTALITY REDUCTION THROUGH MIDWIFERY TRAINING IN PAKISTANI DISTRICT HOSPITALS	Prof. Dr. Saima Rehman, Ayesha Malik, Dr. Imran Khan
		7	TUBERCULOSIS CONTROL AMONG MULTIDRUG-RESISTANT CASES IN KARACHI URBAN SLUMS	Dr. Bilal Ahmed, Sana Gul, Assoc. Prof. Dr. Faisal Siddiqui
		8	NON-COMMUNICABLE DISEASE PREVENTION THROUGH WORKPLACE WELLNESS PROGRAMS IN LAHORE INDUSTRIES	Assis. Prof. Dr. Hina Raza, Muhammad Arif

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Elena Rusu, Victor Moraru**	1	GENETIC DIVERSITY AND CONSERVATION STRATEGIES FOR ENDANGERED BESSARABIAN WILDFLOWER POPULATIONS	Prof. Dr. Ion Ceban, Dr. Maria Popa, Andrei Lupu
		2	MICROBIAL DIVERSITY IN DANUBE DELTA SEDIMENTS AND THEIR ROLE IN NITROGEN CYCLING	Assoc. Prof. Dr. Elena Rusu, Victor Moraru
		3	PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF MOLDOVAN VINEYARD WEEDS FOR CADMIUM-CONTAMINATED SOILS	Dr. Natalia Grozavu, Sergiu Balan, Assis. Prof. Dr. Olga Cimpoes
		4	ENDOPHYTIC FUNGI DIVERSITY AND BIOACTIVE COMPOUNDS FROM ETHIOPIAN COFFEE PLANTS	Prof. Dr. Tadesse Woldemariam, Selamawit Getachew
		5	AQUATIC MACROINVERTEBRATE ASSEMBLAGES AS BIOINDICATORS OF RIFT VALLEY LAKE POLLUTION	Dr. Alemayehu Tesfaye, Rahel Bekele, Assoc. Prof. Dr. Firew Bekele
		6	MOLECULAR PHYLOGENY AND BIOGEOGRAPHY OF CAUCASUS ENDEMIC SALMONID FISHES	Prof. Dr. Elchin Gasimov, Aysel Mammadova, Dr. Rashad Aliyev
		7	ANTIOXIDANT PROPERTIES AND PHYTOCHEMICAL PROFILES OF ZERBAIJANI MEDICINAL HERBS	Assoc. Prof. Dr. Sevinc Aliyeva, Nurlan Huseynov
		8	MICROPLASTIC ACCUMULATION IN CASPIAN SEA BENTHIC COMMUNITIES AND TROPHIC TRANSFER	Dr. Leyla Karimova, Farid Gurbanov, Assis. Prof. Dr. Nigar Rahimova
		9	SYMBIOTIC ASSOCIATIONS BETWEEN AZERBAIJANI TRUFFLES AND NATIVE OAK MYCORRHIZAE	Zaur Mammadov, Prof. Dr. Irada Huseynova
		10	PHYLOGENETIC ANALYSIS OF ENDANGERED CAUCASUS LEOPARD POPULATIONS USING NON-INVASIVE SAMPLING	Dr. Elnur Bagirov, Kamilla Abbasova, Assoc. Prof. Dr. Vugar Aliyev
		11	BIOREMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED ABSHERON PENINSULA SOILS USING RHIZOSPHERE MICROBIOMES	Samir Gadirov, Dr. Tarana Mammadova, Gunel Ismayilova

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Zhanna Musina,**	1	MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION CHALLENGES AMONG ALBANIAN DIASPORA COMMUNITIES IN EUROPE	Prof. Dr. Arben Lika, Dr. Elira Deda, Sokol Meta
		2	GENDER ROLES TRANSFORMATION IN POST-SOCIALIST ALBANIAN RURAL COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Luljeta Hoxha, Beni Qirjako
		3	URBAN POVERTY AND SOCIAL EXCLUSION DYNAMICS IN TIRANA'S INFORMAL SETTLEMENTS	Dr. Fatmir Bega, Mira Shehu, Assis. Prof. Dr. Gentian Elezi
		4	ISLAMIC REVIVALISM AND YOUTH IDENTITY FORMATION IN INDONESIAN URBAN NEIGHBORHOODS	Prof. Dr. Ahmad Syarif, Dr. Nurul Hidayah
		5	CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES AMONG INDONESIAN COASTAL FISHING COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Siti Nurjanah, Budi Santoso
		6	ETHNIC MINORITY INTEGRATION CHALLENGES IN MULTIETHNIC KAZAKHSTANI CITIES	Prof. Dr. Gulnara Aidarova, Yerkebulan Tastanbekov, Dr. Aizhan Kaskyrbekova
		7	TRANSNATIONAL FAMILY NETWORKS AMONG LABOR MIGRANTS FROM RURAL KAZAKHSTAN	Dr. Zhanna Musina, Nurdaulet Abildayev
		8	URBANIZATION EFFECTS ON TRADITIONAL NOMADIC SOCIAL STRUCTURES IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Aidana Satybaldiyeva, Temirlan Orynbayev, Assis. Prof. Dr. Zhuldyz Kenzhegulova

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Elena Cruz,**	1	OPTIMIZATION OF FERMENTATION PARAMETERS FOR ENHANCED BIOACTIVE COMPOUND EXTRACTION FROM FILIPINO COCONUT WATER	Prof. Dr. Maria Santos, Dr. Jose Rizal, Ana Lim
		2	DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE RICE NOODLES FORTIFIED WITH MORINGA OLEIFERA LEAF PROTEIN FOR MALNOURISHED POPULATIONS	Assoc. Prof. Dr. Elena Cruz, Ramon Garcia, Sofia Reyes
		3	ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION OF POLYPHENOLS FROM BANANA PEEL WASTE FOR NATURAL FOOD PRESERVATIVES	Dr. Carlo Mendoza, Liza Torres, Assis. Prof. Dr. Pedro Aquino
		4	MICROENCAPSULATION OF GREEK OLIVE LEAF EXTRACTS FOR FUNCTIONAL DAIRY PRODUCT APPLICATIONS	Prof. Dr. Dimitrios Papadopoulos, Eleni Stavrou, Dr. Katerina Georgiou
		5	HIGH-PRESSURE PROCESSING EFFECTS ON FETA CHEESE MICROSTRUCTURE AND BIOACTIVE PEPTIDE BIOAVAILABILITY	Assoc. Prof. Dr. Nikolaos Katsaros, Maria Panagiotou
		6	NANOTECHNOLOGY-ENHANCED PACKAGING FILMS INCORPORATING RUSSIAN WILD BERRY EXTRACTS FOR MEAT PRESERVATION	Dr. Irina Petrova, Prof. Dr. Sergei Ivanov, Alexei Morozov
		7	FERMENTATION OPTIMIZATION OF KVASS USING RUSSIAN RYE BREWING STRAINS FOR FUNCTIONAL BEVERAGE DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Olga Kuznetsova, Dr. Viktor Smirnov,
		8	CRYOCONCENTRATION TECHNOLOGIES FOR RUSSIAN HONEY DEWATERING AND QUALITY PRESERVATION	Dr. Natalia Volkov, Mikhail Orlov, Assis. Prof. Dr. Anna Sokolova
		9	EXTRUDED BUCKWHEAT-BASED SNACKS FORTIFIED WITH SIBERIAN PINENUT FLOUR FOR PROTEIN ENRICHMENT	Prof. Dr. Dmitry Fedorov, Tatiana Kuzmina
		10	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL PORPHYRIN-BASED SENSORS FOR HEAVY METAL DETECTION IN PHILIPPINE WATER SOURCES	Prof. Dr. Maria Santos, Dr. Carlo Reyes, Ana Lim
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assoc. Prof. Dr. Kostas Nikolaou,	1	GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING ENDOPHYTIC PLANT EXTRACTS FOR ANTIBACTERIAL APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Jose Ramirez, Liana Torres, Dr. Miguel Cruz
		2	ELECTROCHEMICAL IMMOBILIZATION OF ENZYMES ON CARBON NANOTUBES FOR GLUCOSE BIOSENSING IN TROPICAL CLIMATES	Dr. Elena Vargas, Ramon Dela Cruz, Sophia Mendoza
		3	PHOTOCHEMICAL DEGRADATION PATHWAYS OF EMERGING CONTAMINANTS USING TITANIUM DIOXIDE NANOCOMPOSITES	Prof. Dr. Dimitri Papadopoulos, Dr. Eleni Stavrou
		4	SYNTHETIC METHODOLOGIES FOR HETEROCYCLIC NATURAL PRODUCT ANALOGS TARGETING ANTIBIOTIC RESISTANCE	Assoc. Prof. Dr. Kostas Nikolaou, Maria Georgiou
		5	DEVELOPMENT OF MAGNESIUM-BASED HYDRIDES FOR HYDROGEN STORAGE IN ARID CLIMATES	Dr. Fatima Al-Harthi, Omar Al-Maskari, Assis. Prof. Dr. Khalid Al-Siyabi
		6	CATALYTIC CONVERSION OF PLASTIC WASTE TO AROMATIC HYDROCARBONS USING ZEOLITE CATALYSTS	Prof. Dr. Salim Al-Rashdi, Dr. Noor Al-Mahrooqi, Ahmed Al-Belushi
		7	BIOSORPTION MECHANISMS OF DYE POLLUTANTS USING ALGAE-DERIVED CARBON FROM OMANI COASTAL BIOMASS	Assoc. Prof. Dr. Layla Al-Kindi, Hassan Al-Ghafari, Zahra Al-Maskari

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON	**Assoc. Prof. Dr. Georgios Markakis**	1	PREVALENCE AND ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS OF SALMONELLA IN BACKYARD POULTRY FARMS IN THE PHILIPPINES	Prof. Dr. Maria Santos, Dr. Jose Ramirez, Ana Cruz
		2	IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON TICK-BORNE DISEASES IN PHILIPPINE WATER BUFFALO POPULATIONS	Assoc. Prof. Dr. Roberto Villanueva, Liza Torres
		3	NUTRITIONAL MANAGEMENT STRATEGIES FOR IMPROVING DAIRY PRODUCTION IN PHILIPPINE SMALLHOLDER FARMS	Dr. Elena Garcia, Miguel Santos, Assis. Prof. Dr. Carla Mendoza
		4	EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AFRICAN SWINE FEVER IN GREEK COMMERCIAL PIG FARMS	Prof. Dr. Dimitrios Papadopoulos, Eleni Stavrou
		5	ADVANCES IN SHEEP MASTITIS CONTROL USING PLANT-BASED ANTIBACTERIAL FORMULAS IN GREEK DAIRY HERDS	Dr. Katerina Nikolopoulou, Assoc. Prof. Dr. Georgios Markakis
		6	PARASITE MANAGEMENT PROTOCOLS FOR CAMELID HERDS IN OMANI ARID ENVIRONMENTS	Dr. Ahmed Al-Harthi, Fatima Al-Maskari, Salim Al-Balushi
		7	VACCINE DEVELOPMENT AGAINST NEWCASTLE DISEASE IN OMANI POULTRY SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Rashdi, Mariam Al-Hinai
		8	THERMAL STRESS MITIGATION STRATEGIES FOR DAIRY GOATS IN OMANI SUMMER CONDITIONS	Prof. Dr. Nasser Al-Kindi, Dr. Aisha Al-Mahrooqi, Omar Al-Ghafri

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Khorram Manafidizaji**	1	HEKİMLERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ALGI PROFİLLERİ VE TÜKENMİŞLİK DÜZEYLERİ: ÖRTÜK PROFİL ANALİZİ BULGULARI	Prof. Dr. Burcu Güler Doç. Dr. Filiz Künüroğlu İnal Arş. Gör. Dilara TURGUT
		2	KADIN ÇALIŞANLARDA İNSANA YAKIŞIR İŞ VE RUHSAL BELİRTİLER: GİZİL PROFİL ANALİZİ	Arş. Gör. Dilara TURGUT Prof. Dr. Burcu Güler
		3	OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU OLAN ÇOCUKLARIN EBEVEYNLERİNDE SOSYAL DESTEK, PSİKOLOJİK DAYANIKLILIK VE İYİ OLUŞ İLİŞKİSİ	Dilara TANFER TEK
		4	KÜÇÜK ‘t’ TRAVMALAR İLE SOSYAL DIŞLANMA ARASINDAKİ İLİŞKİYE DAİR KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE	Psikolog BESİM KARABULUT Dr. Öğr. Üyesi ALİYE ATEŞ ÖS
		5	ROMANTİK İLİŞKİLERDEN BEKLENTİLERE DAİR FARKINDALIK İLE EVLİLİK KORKUSU ARASINDAKİ İLİŞKİDE KARANLIK DÖRTLÜ KİŞİLİK ÖZELLİKLERİNİN DÜZENLEYİCİ ROLÜ	Psikolog Aslıhan BOSTANCI
		6	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE DUYGU DÜZENLEME GÜÇLÜĞÜ VE BENLİK SAYGISI ARASINDAKİ İLİŞKİDE MÜKEMMELİYETÇİLİĞİN ARACI ROLÜ	Klinik Psikoloji Tez Öğrencisi, Memnune YAMAN Doç. Dr. Burcu Rahşan ERİM
		7	BORDERLİNE KİŞİLİK ÖZELLİKLERİ VE ROMANTİK İLİŞKİLERDE SOSYAL MEDYA KISKANÇLIĞI ARASINDAKİ İLİŞKİDE DUYGU DÜZENLEME GÜÇLÜĞÜNÜN ARACI ROLÜ	Hatice Rana ÖZKOL
		8	BELİREN YETİŞKİNLİKTE MENTALİZASYONUN YEME BOZUKLUĞU BELİRTİLERİYLE OLAN İLİŞKİSİNDE REDDEDİLME DUYARLILIĞININ DÜZENLEYİCİ ROLÜ	Melisa Girgiç
		9	DEVELOPMENT OF THE PEER KINDNESS SCALE FOR ADOLESCENTS: A VALIDITY AND RELIABILITY STUDY	Yüksek Lisans Öğrencisi Kübra ŞAHİN Prof. Dr. Fulya TÜRK
		10	YAŞLILIKTA YOGA UYGULAMALARININ BİLİŞSEL İŞLEVLER VE PSİKOLOJİK İYİ OLUŞ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE TÜRKİYE BAĞLAMINDA ARAŞTIRMA BOŞLUKLARI	Öğr. Gör. Dr Hatice ÇINAR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Amaneh MANAFİDİZAJİ**	1	QURAN-CENTERED NARRATIVE IN THE CLASSICAL MASNAVI TRADITION: THE EXAMPLE OF BAYBURTLU AĞLAR İRŞÂDÎ BABA'S YUSUF AND ZELIHA MASNAVI	Dr. Mehmet KESKİN
		2	ALT YAZI ÇEVİRİSİNDE MAKİNE ÇEVİRİSİ KULLANIMININ ÇEVİRİ KALİTESİ BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ	Öğr. Gör. Muhammed GÜNAYDIN
		3	ATAOL BEHRAMOĞLU'NUN ŞİİRLERİNDE SIFAT TAMLAMALARIYLA KURULAN İMGE DÜNYASI	Öğr. Gör. Elif KUTUM
		4	THE RELATIONSHIP BETWEEN INTELLIGENCE AND LIES IN SEPHARDIC JEWISH TALES	Öğr. Gör. Dr. Fatma ÜÇLER
		5	COMPUTERIZED ANALYSIS AND CONCEPT MAPPING OF POEMS IN PIYALE	Öğr. Gör. Dr. Fatma ÜÇLER
		6	İSLAMİ ROMANLARDA KADIN KİMLİĞİ (1980-2000)	Dr. Arş. Gör. Okan ANCAK
		7	AN EVALUATION OF THE NOVEL "THE SHIRT OF FIRE" IN THE CONTEXT OF NATIONALISM THEORIES	Assistant Professor Ali Rıza SAVAŞ
		8	THE FEMALE BODY AND THE MALE MORAL CONCEPTION IN VEDAT TURKALI'S NOVEL "WHAT IS FATMAGUL'S CRIME"	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Doç. Dr. HAYATİ OLĞAR**	1	WEAK FIXED POINT PROPERTY FAILURE IN A KÖTHE–TOEPLITZ TYPE FUNCTION SPACE ASSOCIATED WITH A SCALED–WEIGHT α–DUAL STRUCTURE	Doç. Dr. Veysel NEZİR
		2	PERİYODİK SINIR ŞARTLARI İLE VERİLEN SÜREKSİZ STURM-LİOUVİLE PROBLEMİNİN ÖZDEĞER VE ÖZFONKSİYONLARI	YL. Öğrencisi, ZİYAEDDİN ŞEKER Prof., KADRİYE AYDEMİR Prof., OKTAY Sh. MUKHTAROV
		3	YÖNLÜ AĞIRLIKLI ÇİZGE DEĞERLİ ESNEK KÜMELER İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME UYGULAMALARI	Doç. Dr. Serkan ATMACA Hülya ÇAKIR
		4	BİR SÜREKSİZ STURM-LİOUVİLLE SINIR-DEĞER-GEÇİŞ PROBLEMİNİN ÖZDEĞERLERİNİN ALTTAN SINIRLILIĞI ÜZERİNE	Doç. Dr. HAYATİ OLĞAR Prof. Dr. OKTAY MUHTAROĞLU Prof. Dr. KADRİYE AYDEMİR
		5	ÇOK-ARALIKLI STURM-LİOUVİLLE TİPİNDE BİR SINIR-DEĞER-İLETİM PROBLEMİNİN GENELLEŞTİRİLMİŞ ÖZFONKSİYONLARI ÜZERİNE	Doç. Dr. HAYATİ OLĞAR Prof. Dr. KADRİYE AYDEMİR Prof. Dr. OKTAY MUHTAROĞLU
		6	A FIXED POINT THEOREM FOR CHATTERJEA CONTRACTIONS IN MULTIPLICATIVE MODULAR METRIC SPACES	Asst. Prof. Elif KAPLAN Assoc. Prof. Dr. Nihal TAŞ
		7	REICH TYPE CONTRACTION IN CONTROLLED ULTRAMETRIC-TYPE SPACES	Tuğçe YOĞUNALİ Asst. Prof. Elif KAPLAN
		8	TOTAL DOMINATION RUPTURE DEGREE OF GRAPHS	Ayten ALTUNBAŞ Prof. Dr. Alpay KIRLANGIÇ
		9	TÜRKİYE'DE ENFLASYON ALGISINDAKİ FARKLILIKLAR ÜZERİNE EKONOMETRİK BİR ANALİZ	Alper Kaan SOLAK Doç.Dr. Hatice AKDAĞ
		10	Analysis of Oscillation in Fractional Order Systems	Gülsüm Ulusoy ADA Mussa Yousef MOHAMED
		11	Approximation Properties of -Baskakov Operators Involving Modified Euler Polynomials	Gülsüm Ulusoy ADA Mussa Yousef MOHAMED

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assist. Prof. Dr. Semih Mahmut AKTARER**	1	ÇOK NOKTADAN TEMAS EDEN BİLYELERLE EZEREK PARLATMA İŞLEMİNDE İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİ VE SERTLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	Şeyhhamit NACAR
		2	STRUCTURAL PROPERTİES OF ST14 STEEL JOİNED BY FRİCTİON STİR WELDİNG	Assist. Prof. Dr. Semih Mahmut AKTARER
		3	YEŞİL SENTEZ YÖNTEMİ İLE ACHILLEA MILLEFOLIUM VE ECHINACEA PURPUREA ÖZÜTLERİ KULLANILARAK PLATİN NANOPARTİKÜLLERİNİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU	Dr. Öğr. Üyesi FATİH TURAN Prof. Dr. AYLİN M. DELİORMANLI
		4	FİZYOLOJİK ORTAMDA CaO 2 NANOPARTİKÜLLERİNİN OKSİJEN SALIM DAVRANIŞINDA STABİLİZATÖR VE KATALİZÖRLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Elif YAĞLI Dr. Öğr. Üyesi FATİH TURAN Prof. Dr. AYLİN M. DELİORMANLI
		5	ALAŞIM ELEMENTLERİNİN KAYNAKLI ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	Dr. Fatih GÜVEN
		6	S690 ÇELİĞİNİN BENZER OLMAYAN MALZEMELERLE KAYNAKLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER VE DOLGU TELİNİN SEÇİMİ	Dr. Fatih GÜVEN
		7	METAKAOLENDEN SiC PARTİKÜL TAKVİYELİ MÜLLİT SERAMİK KOMPOZİT ÜRETİMİ	Öğr. Gör. TURGAY TEHÇİ YAPRAK SAC Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN
		8	AA 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MIG KAYNAĞINDA ISI GİRDİSİNİN SERTLİK, KIRILMA DAVRANIŞI VE İÇYAPIYA ETKİSİ	Öğr. Gör. TURGAY TEHÇİ SAMET OĞURLU Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Gökhan UŞMA**	1	BİR KONUT POLİTİKASI ÖNERİSİ OLARAK YATAY MİMARİ: KARABÜK ÖRNEĞİ	Prof. Dr. Hatice Selma ÇELİKYAY Doç. Dr. Beyza ONUR Dr. Öğr. Üyesi Fuat FİDAN Arş. Gör. Dr. Ayşe Merve SARAÇOĞLU GEZER Arş. Gör. Dr. Ece KAYA
		2	MİMARİ PLANLAMA KARARLARININ DEPREM YÖNETMELİĞİ ÇERÇEVESİNDE ANALİZİ: L, T VE U FORMLU KONUT YAPILARINDA PLANDA DÜZENSİZLİK SORUNU	Yüksek Mimar Rabia Safa ÖZEN Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
		3	TEMSİL ARACI OLARAK MİMARİ FOTOĞRAF	Y. Mimar Funda KELEŞ Doç. Dr. Beyza ONUR
		4	ANALYSIS OF THE SMART CITIES CONCEPT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN THE KARABAKH REGION OF AZERBAIJAN	Elnarə ƏHMƏDOVA Assoc. Prof. Gökhan UŞMA
		5	SOCIAL SUSTAINABILITY IN URBAN TRANSFORMATION: THE CASE STUDY OF BAYRAKLI, İZMİR	Zeynep Tutku EREN
		6	TEMEL FORMLARDAN OLUŞAN MEKÂNLARIN İÇ MEKÂN AYDINLATMASI AÇISINDAN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra KILIÇTAŞ Doç. Dr. Şensin YAĞMUR
		7	KAPALI ALAN WiFi KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİNDE LOG-MESAFE YOL KAYBI MODELİ VE GAUSS SÜREÇ REGRESYONU YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Dr. Öğretim Üyesi Recep ÇAKIR
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu**	1	ANALYSIS OF ANNUAL CHANGES IN THE CONSTRUCTION COST OF OVERHEAD POWER LINES USING INDEX NUMBERS	Electrical Eng. Alper YILDIZ Prof. Dr. Selim AY
		2	ECONOMIC ANALYSIS OF SERIES COMPENSATION FACILITIES IN ENERGY TRANSMISSION SYSTEMS	Electrical Eng. Alper YILDIZ Prof. Dr. Selim AY
		3	COMPARATIVE EVALUATION OF NONLINEAR INDUCTOR MODELS FOR SMPS APPLICATIONS	Dr. Öğr. Üyesi Halime HIZARCI
		4	INVESTIGATION OF THE TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF TE-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES THROUGH MULTILAYER DIELECTRIC LAYERS	Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu
		5	ANALYSIS OF THE TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF TM-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES THROUGH MULTILAYER DIELECTRIC STRUCTURES	Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu
		6	12MVA 6,3-10,5KV YG-YG KURU TİP TRANSFORMATÖR PROTOTİP İMALATI VE TESTLERİ	Hamza BİRGENÇ
		7	PREMAG SARGISI İLE MANYETİK ALANIN DÜZGÜN ŞEKİLDE OLUŞMASINI SAĞLAYACAK 23 MVA 33/33 KV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ	DİLARA GÜRKAN
		8	TRANSFORMATÖR ALTINDA ANTİVİBRASYON PEDİ KULLANILARAK SES SEVİYESİ DÜŞÜRÜLECEK 20(26) MVA 115/33 KV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ	Sıla YETER
			MUKAVEMETİ GÜÇLENDİRİLMİŞ İLETKENLİ, 31.5 MVA 33/11.5 KV TRANSFORMATÖR TASARIMI , PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ	Kübra Örnek KOCABEY Meltem SELEK
			OTOMOTİV BOYA YÜZEYLERİNDEKİ RENK SAPMALARI VE MİKRO KUSURLARIN TESPİTİNDE YÜKSEK CRI (>97) AYDINLATMA KOŞULLARININ ROLÜ	Onur ÇELİK Melikenur ER Ramazan ALTIN Samet YAVAŞ Burak DEMİROK Sinan ŞAHİN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr., Selcen SARI-AYTEKİN**	1	YENGEÇ SEPETİ SENDROMU İLE İLGİLİ TÜRK AKADEMİSİNİN BİLİMSEL ETKİNLİKLERİ: SİSTEMATİK DERLEME	Doç. Dr., Selcen SARI-AYTEKİN
		2	DIGITAL TWIN CITIES: THE FINAL STOP IN DATA-DRIVEN URBAN GOVERNANCE	Doç. Dr. Sinem ŞAHNAGİL
		3	THE INSTITUTIONALISM OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS EFFECTS ON LARGE AND SMALL BUSINESSES	Associate Professor Dr. Emine KAMBUR
		4	ARTIFICIAL INTELLIGENCE, CULTURE, CORPORATE RESPONSIBILITY	Associate Professor Dr. Emine KAMBUR
		5	Z KUŞAĞI BAĞLAMINDA PSİKOLOJİK SERMAYENİN SINIRSIZ KARİYER YÖNELİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Öğr. Gör. Dr. Bedirhan ELDEN
		6	SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE KURUMSAL SOSYAL SORUMLULUK, SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA HEDEFLERİ	Kübra DEMİRCİ Dr.Öğr.Üyesi Oya ÖNALAN
		7	THE CSR ANATOMY OF AN EMERGING MARKET: SECTORAL AND SCALE- BASED ANALYSIS OF CSR ACTIVITIES IN BIST CORPORATE GOVERNANCE INDEX COMPANIES IN TURKIYE	Dr. Öğr. Üyesi Olcay Bektaş Dilan Çimen Ayşe Nur Karadaş Yağmur Sezgin
		8	ÖRGÜTSEL ADALET ALGISININ ÖRGÜTSEL SESSİZLİĞE ETKİSİ	Doç. Dr. Berat ÇİÇEK Doç. Dr. İnan KAYNAK
			İŞİN ANLAMLILIĞININ İŞ YERİNDE SIKILMAYA ETKİSİ	Doç. Dr. İnan KAYNAK Doç. Dr. Berat ÇİÇEK
			ALGORİTMİK YÖNETİMİN PSİKOLOJİK SONUÇLARI: ÇALIŞANLARDA YABANCILAŞMA, STRES VE ÖZERKLİK KAYBI	Elif Buse KORKUSUZ Ceylin DOĞAN Dr. Öğr. Üyesi Serap YÜCEL Prof. Dr. Oya Ġnci BOLAT

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Prof. Dr. Çiğdem KILIÇ**	1	MEDDAHLIK GELENEĞİ İLE EPİK TİYATRONUN KURAMSAL BAĞLAMDA YENİDEN OKUNMASI	Gizem YÖNGÜL Harun Osman TİMUR
		2	İSTANBULİMPRO'NUN "KELEBEĞİN PEŞİNDEN KOŞMAK" OYUNUNUN DOĞAÇLAMA TİYATRONUN LONG FORMU AÇISINDAN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Pınar ÖZBAKIŞ
		3	GELENEĞİN DİRENCİ: EŞEĞİN GÖLGESİ OYUNUNDA GELENEKSEL TÜRK TİYATROSU ESTETİĞİNİN ÇAĞDAŞ DRAMATURJİYLE DÖNÜŞÜMÜ	Sercan ÖZKAYA
		4	TOM STOPPARD'IN MAGRİTTE'TEN SONRA OYUNUNDA GÖRSEL SANATLARIN DRAMATİK YAPIYA YANSIMALARI	Yüksek Lisans Öğrencisi Furkan Tuğçe AÇIKEL
		5	ORTAOYUNU VE KARAGÖZ'DE SEYİRCİ ANLAYIŞI	Prof. Dr. Çiğdem KILIÇ
		6	THE POLİTİCS OF THE UNSEEN: EMPTY FORM AND THE CRİSİS OF REPRESENTATİON İN THE WORKS OF TERESA MARGOLLES AND SANTİAGO SİERRA	Prof. Ayşegül Türk

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Doç. Dr. Rana DAYIOĞLU ERUL**	1	EKONOMİK REFAH ANALİZİ: TOPLUMSAL CİNSİYET PERSPEKTİFİNDEN KURAMSAL BİR DEĞERLENDİRME	Sinem MUŞLU Prof. Dr. Meral ALTAN
		2	Geopolitical Risk Shocks and the Turkish Economy: Evidence from Nonlinear SVAR and Threshold Impulse Response Analysis	Dr. Öğr. Üyesi Semih KARACAN
		3	RE-EVALUATİNG THE COBWEB THEORY FROM A BEHAVİORAL ECONOMİCS PERSPECTİVE	Arş. Gör. Mert ALTUN Prof. Dr. Meral UZUNÖZ ALTAN
		4	THE IMPACT OF DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON EXPORT DIVERSIFICATION: EVIDENCE FROM TURKEY	Lecturer Tülay ÖLMEZ
		5	THE ROLE OF BANK-SOURCED BORROWING ON THE IMPACT OF INFLATION ON INCOME INEQUALITY	Ömer Faruk Erenbaş
		6	AVRUPA BİRLİĞİ'NİN İKTİSADİ EVRİMİ VE EKONOMİK BÜTÜNLEŞME SÜRECİ	Ezgi Yılmaz Başdaş
		7	OECD ÜLKELERİNDE VERGİ REFORMLARININ YÖNÜ: SERVET ÜZERİNDEN ALINAN VERGİLER	Doç. Dr. Rana DAYIOĞLU ERUL
		8	ELEKTRİKLİ ARAÇ SATIŞINDA UYGULANAN VERGİLERİN ARAÇ SATIŞINA ETKİSİ: OECD ÖRNEĞİ	Doç. Dr. Rana DAYIOĞLU ERUL

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof. Dr. Nuri BAŞUSTA**	1	ASLAN BALIĞININ (PTEROIS MILES) İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDEN YENİ KAYITLARI	Prof. Dr. Nuri BAŞUSTA
		2	İSTİLACI FISTULARIA COMMERSONII VE FISTULARIA PETIMBA TÜRLERİNİN İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDEN YENİ KAYITLARI	Prof. Dr. Nuri BAŞUSTA Prof. Dr. Gülnaz ÖZCAN
		3	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ ÇAYIRLARI EKOSİSTEMLERİNE ETKİLERİ	Araş. Gör. Kaan Kırşan Prof. Dr. Sevim Polat
		4	USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIAGNOSIS, MONITORING AND MANAGEMENT OF PLANT DISEASES	Assoc. Prof. Dr. Filiz ÜNAL
		5	THE ROLE OF RENEWABLE ENERGY IN AGRICULTURAL PRODUCTION	Prof.Dr. Havva Eylem POLAT Res.Ass. Ahmet Cengiz YILDIRIM
		6	THE IMPORTANCE OF ENERGY EFFICIENCY AND INSULATION IN COLD STORAGE FACILITIES	Prof. Dr. Havva Eylem POLAT Res. Ass. Ahmet Cengiz YILDIRIM
		7	The Relationship Between Minerals, Rocks, and Soil	Yüksek Lisans Öğrencisi Naci Kubilay DONİ Prof. Dr. Salih AYDEMİR
		8	EVALUATION OF THE PREVALENCE OF Pseudomonas tolaasii IN EDIBLE CULTIVATED MUSHROOM PRODUCTION AREAS IN ANTALYA PROVINCE AND ITS SURROUNDINGS: 2023-2025	Prof. Dr. Hüseyin BASIM Prof. Dr. Esin BASIM
		9	DETERMINATION OF PATHOGENS IN BANANA PRODUCTION AREAS SURROUNDING ANTALYA PROVINCE	Prof. Dr. Hüseyin BASIM Prof. Dr. Esin BASIM
		10	ASSESSING THE KNOWLEDGE LEVELS OF PRODUCERS IN ANTALYA PROVINCE REGARDING THE ROLE OF BIOLOGICAL CONTROL IN VEGETABLE AND FRUIT PRODUCTION	Prof. Dr. Esin BASIM Prof. Dr. Hüseyin BASIM
		11	DETERMINATION OF FUNGAL PATHOGENS ISOLATED FROM SUGAR BEET PRODUCTION AREAS IN BURDUR PROVINCE AND THEIR PREVALENCE	Prof. Dr. Esin BASIM

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Sanjay Rao,**	1	**FORMULATION AND EVALUATION OF HERBAL NANOPARTICLES FOR ENHANCED ANTI-DIABETIC ACTIVITY IN INDIAN TRADITIONAL MEDICINE**	**Prof. Dr. Rajesh Kumar Singh**
		2	**PHARMACOKINETIC OPTIMIZATION OF CURCUMIN-LOADED LIPOSOMES FOR NEUROPROTECTIVE EFFECTS IN ALZHEIMER'S MODELS**	**Assoc. Prof. Dr. Meera Desai, Vikram Gupta, Neha Kapoor**
		3	**DEVELOPMENT OF SUSTAINED-RELEASE MATRIX TABLETS CONTAINING METFORMIN HYDROCHLORIDE USING NATURAL POLYMERS**	**Dr. Sanjay Rao, Anjali Verma, Rohit Jain**
		4	**ANTIMICROBIAL EFFICACY OF SILVER NANOPARTICLES SYNTHESIZED FROM NEEM LEAF EXTRACT AGAINST MULTIDRUG-RESISTANT BACTERIA**	**Assis. Prof. Dr. Kavita Sharma, Deepak Mishra**
		5	**FORMULATION OF ORAL FLOATING MICROSPHERES FOR ERADICATION OF HELICOBACTER PYLORI IN EGYPTIAN PATIENTS**	**Prof. Dr. Ahmed Hassan, Dr. Fatima Mahmoud**
		6	**PHARMACEUTICAL EVALUATION OF EGYPTIAN MEDICINAL PLANTS FOR ANTI-INFLAMMATORY DRUG DISCOVERY**	**Assoc. Prof. Dr. Mohamed Salem, Nour El-Din**
		7	**DEVELOPMENT OF TOICAL EMULSION GEL FOR PSORIASIS TREATMENT USING EGYPTIAN CASTOR OIL DERIVATIVES**	**Dr. Sara Ahmed, Khaled Osman, Assis. Prof. Dr. Reem Hassan**
		8	**BIOSYNTHETIC APPROACHES FOR PRODUCTION OF NOVEL ANTIBIOTICS FROM MACEDONIAN SOIL MICROBIOMES**	**Prof. Dr. Nikola Petrovski, Dr. Elena Risteska**
		9	**BIOSYNTHETIC APPROACHES FOR PRODUCTION OF NOVEL ANTIBIOTICS FROM MACEDONIAN SOIL MICROBIOMES**	**Prof. Dr. Nikola Petrovski, Dr. Elena Risteska**
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Esther Njoroge,	1	DEVELOPMENT OF COST-EFFECTIVE SOLAR-POWERED IRRIGATION SYSTEMS FOR PAKISTANI AGRICULTURAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Ahmed Raza Khan, Dr. Sara Iqbal, Bilal Hassan
		2	STRUCTURAL OPTIMIZATION OF EARTHQUAKE-RESISTANT BRIDGE DESIGNS USING PAKISTANI LOCAL MATERIALS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra, Khalid Mehmood, Dr. Imran Malik
		3	ADVANCES IN LOW-COST WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES FOR INDUSTRIAL ZONES IN KARACHI	Dr. Nadeem Akhtar, Ayesha Siddiqui, Assis. Prof. Dr. Zubair Khan
		4	AERODYNAMIC ENHANCEMENTS FOR SMALL-SCALE WIND TURBINES IN PAKISTANI OFF-GRID COMMUNITIES	Prof. Dr. Hassan Rauf, Mariam Shah, Tariq Javed
		5	SMART BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS FOR DUBAI'S HIGH-RISE COMMERCIAL DEVELOPMENTS	Dr. Omar Al-Fahim, Layla Hassan, Assoc. Prof. Dr. Khalid Nasser
		6	DESIGN OF SUSTAINABLE DESALINATION PLANTS UTILIZING WASTE HEAT RECOVERY IN DUBAI	Prof. Dr. Fatima Al-Suwaidi, Ahmed Khalil
		7	3D PRINTING APPLICATIONS IN CUSTOM PROSTHETICS FOR DUBAI'S DIVERSE EXPATRIATE POPULATION	Dr. Mariam Rashid, Salim Al-Mansoori, Assis. Prof. Dr. Noor Khan
		8	GEOTHERMAL ENERGY EXPLORATION AND WELL DESIGN METHODOLOGIES FOR KENYAN RIFT VALLEY	Prof. Dr. James Mwangi, Dr. Esther Njoroge, Kevin Otieno
		9	BIOMASS CONVERSION TECHNOLOGIES FOR RURAL ELECTRIFICATION IN KENYAN ARID REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Lilian Kiptoo, Samuel Wanjala, Amina Hassan
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Fatima Zohra,**	1	CLIMATICALLY RESPONSIVE MOSQUE ARCHITECTURE INCORPORATING INDIGENOUS VERNACULAR ELEMENTS IN PAKISTANI PUNJAB	Prof. Dr. Ahmed Zubair, Dr. Sara Khan, Bilal Ahmed
		2	EARTHQUAKE-RESILIENT MUD BRICK CONSTRUCTION TECHNIQUES FOR HERITAGE CONSERVATION IN NORTHERN PAKISTAN	Assoc. Prof. Dr. Fatima Rehman, Omar Siddiqui
		3	URBAN INFILL HOUSING MODELS ADDRESSING LAND SCARCITY IN KARACHI'S INFORMAL SETTLEMENTS	Dr. Nadia Gul, Hassan Malik, Ayesha Tariq
		4	SUSTAINABLE MARKET ARCHITECTURE REVITALIZING TRADITIONAL BAZAARS IN PESHAWAR'S OLD CITY	Assis. Prof. Dr. Imran Khan, Zainab Noor
		5	POST-COLONIAL HOUSING MORPHOLOGIES BLENDING OTTOMAN AND FRENCH ARCHITECTURAL LEGACIES IN ALGIERS	Prof. Dr. Karim Belkacem, Dr. Nadia Cherif, Samir Lounis
		6	SAHARAN VERNACULAR STRATEGIES FOR CONTEMPORARY DESERT ARCHITECTURE IN SOUTHERN ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Fatima Zohra, Yacine Hadji
		7	PUBLIC SPACE RECONFIGURATION STRATEGIES FOR POST-WAR URBAN RECOVERY IN ORAN'S MEDINA	Dr. Mehdi Bouziane, Amina Bouzid
		8	BYZANTINE INFLUENCES IN SERBIAN ORTHODOX MONASTERY ARCHITECTURE AND SPATIAL ORGANIZATION	Prof. Dr. Milan Petrovic, Dr. Ana Jovanovic, Nikola Radovic

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Chinedu Okonkwo,**	1	STRUCTURAL ANALYSIS OF BANGLADESH RICE VARIETAL ENZYMES UNDER SALINITY STRESS USING X-RAY CRYSTALLOGRAPHY	Prof. Dr. Rahman Karim, Dr. Fatima Begum, Shahid Islam
		2	MITOCHONDRIAL MEMBRANE POTENTIAL DYNAMICS IN BANGLADESH DIABETIC PATIENT LYMPHOCYTES	Assoc. Prof. Dr. Nazma Akter, Md. Faisal Ahmed
		3	QUANTUM DOTS CONJUGATION EFFECTS ON PROTEIN FOLDING KINETICS IN BANGLADESH SERICIN NANOPARTICLES	Dr. Shabnam Jahan, Rashedul Islam, Assis. Prof. Dr. Tasnim Sultana
		4	NMR SPECTROSCOPY REVEALS CONFORMATIONAL CHANGES IN BANGLADESH MANGROVE PEROXIDASE UNDER HEAVY METAL EXPOSURE	Prof. Dr. Mustafa Kamal, Laila Rahman
		5	AFRICAN YAM BEAN LECTIN GLYCAN RECOGNITION PATTERNS IN NIGERIAN CANCER CELL LINES	Dr. Chinedu Okonkwo,
		6	MEMBRANE FLUIDITY ALTERATIONS IN NIGERIAN SICKLE CELL ERYTHROCYTES UNDER OXIDATIVE STRESS	Prof. Dr. Olusegun Adebayo, Chioma Nwosu
		7	STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF NIGERIAN SHEA BUTTER FATTY ACID BINDING PROTEINS USING CD SPECTROSCOPY	Assis. Prof. Dr. Fatima Yusuf, Emeka Okafor, Dr. Aisha Mohammed
		8	MACEDONIAN WINE YEAST MEMBRANE PROTEOMICS UNDER ETHANOL STRESS VIA MASS SPECTROMETRY	Prof. Dr. Nikola Petrovski, Dr. Elena Markova, Goran Trajkovski
		9	QUANTUM MECHANICAL CALCULATIONS OF MACEDONIAN HERBAL ALKALOID-DNA INTERCALATION	Assoc. Prof. Dr. Viktorija Stefanoska, Ivancho Arsov

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli**	1	OPTIMIZATION OF TURBINE BLADE COOLING CHANNELS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS IN HIGH-TEMPERATURE GAS ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Mohammad Rezaei, Ali Karimi, Dr. Sara Hosseini
		2	VIBRATION ANALYSIS AND DAMPING TECHNIQUES FOR ROTOR SYSTEMS IN INDUSTRIAL CENTRIFUGAL COMPRESSORS	Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli, Fatemeh Jafari
		3	THERMO-MECHANICAL FATIGUE MODELING OF CYLINDER HEADS IN HEAVY-DUTY DIESEL ENGINES	Dr. Reza Mahmoudi, Nima Bahrami, Assis. Prof. Dr. Leila Ahmadi
		4	ADVANCED MANUFACTURING OF LIGHTWEIGHT ALUMINUM ALLOYS FOR AUTOMOTIVE SUSPENSION COMPONENTS VIA FRICTION STIR PROCESSING	Prof. Dr. Amir Hosseinpour, Zahra Mahmoudi
		5	DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF BIOMASS GASIFICATION SYSTEMS FOR RURAL ELECTRIFICATION IN KENYAN COMMUNITIES	Dr. James Mwangi, Esther Kiptoo, Assoc. Prof. Dr. Paul Njoroge
		6	THERMAL MANAGEMENT SOLUTIONS FOR SOLAR-POWERED REFRIGERATION SYSTEMS IN OFF-GRID KENYAN MARKETS	Samuel Otieno, Dr. Grace Wanjiku
		7	DEVELOPMENT OF LOW-COST WIND TURBINE BLADES USING NATURAL FIBER COMPOSITES FOR KENYAN MICROGRIDS	Prof. Dr. David Kariuki, Miriam Chebet
		8	ADVANCED HEAT EXCHANGER DESIGNS FOR PETROCHEMICAL PROCESSES USING ADDITIVE MANUFACTURING IN OMAN	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Rashdi, Fatima Al-Maskari
		9	FATIGUE LIFE PREDICTION MODELS FOR OFFSHORE DRILLING RISER SYSTEMS UNDER IRREGULAR WAVE LOADING	Dr. Khalid Al-Belushi, Mariam Al-Harthi, Assis. Prof. Dr. Nasser Al-Siyabi
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assis. Prof. Dr. Amir Ghasemi,**	1	DEVELOPING FEDERATED LEARNING FRAMEWORKS FOR PRIVACY-PRESERVING MEDICAL IMAGE ANALYSIS IN DISTRIBUTED IRANIAN HOSPITALS	Prof. Dr. Reza Hosseini, Dr. Sara Mahmoudi, Ali Karimi
		2	EXPLAINABLE AI MODELS FOR CREDIT RISK ASSESSMENT IN IRANIAN BANKING SECTORS UNDER ECONOMIC SANCTIONS	Assoc. Prof. Dr. Mohammad Jafari, Fatemeh Ahmadi
		3	GAN-BASED SYNTHETIC DATA GENERATION FOR AUGMENTING RARE DISEASE DIAGNOSIS IN PERSIAN MEDICAL DATABASES	Dr. Leila Nazari, Hossein Rezaei, Neda Tavakoli
		4	REINFORCEMENT LEARNING OPTIMIZATION OF SMART GRID ENERGY DISTRIBUTION IN IRANIAN URBAN NETWORKS	Assis. Prof. Dr. Amir Ghasemi, Zahra Khalili
		5	AI-DRIVEN CROP DISEASE DETECTION SYSTEMS FOR SMALLHOLDER FARMERS IN KENYAN ARID REGIONS	Prof. Dr. James Mwangi, Dr. Esther Kiptoo
		6	NLP MODELS FOR SWAHILI LANGUAGE PRESERVATION AND EDUCATIONAL APPLICATIONS IN KENYAN PRIMARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Peter Njoroge, Amina Hassan, Caleb Omondi
		7	DRONE-BASED AI MONITORING FOR WILDLIFE CONSERVATION IN KENYAN SAVANNA ECOSYSTEMS	Dr. Miriam Chege
		8	BLOCKCHAIN-ENABLED AI SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION FOR OMANI DATE PALM EXPORTERS	Prof. Dr. Ahmed Al-Rashdi, Dr. Fatima Zahra, Khalid Al-Maskari
		9	AI-POWERED WATER RESOURCE MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN OMANI WADI SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Salem Al-Harthy, Mariam Said
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Amina Fouad**	1	OPTIMIZATION OF TURBINE BLADE COOLING CHANNELS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS IN HIGH-TEMPERATURE ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Ahmed Hassan, Dr. Mohamed Salem, Karim El-Sayed
		2	VIBRATION ANALYSIS AND DAMPING TECHNIQUES FOR ROTOR SYSTEMS IN EGYPTIAN PETROCHEMICAL COMPRESSORS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Abdel Rahman, Omar Khalil
		3	DEVELOPMENT OF NANO-COMPOSITE MATERIALS FOR HIGH-STRENGTH AUTOMOTIVE COMPONENTS UNDER FATIGUE LOADING	Dr. Nour El-Din Mahmoud, Youssef Ibrahim, Assis. Prof. Dr. Sara Hassan
		4	THERMAL MANAGEMENT SYSTEMS FOR SOLAR THERMAL POWER PLANT RECEIVERS IN ARID ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Khaled Mostafa, Dr. Amina Fouad
		5	ADVANCES IN FRICTION STIR WELDING TECHNIQUES FOR ALUMINUM-LITHIUM ALLOYS IN AEROSPACE APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Rachid Belkacem, Dr. Samir Hadji
		6	NUMERICAL MODELING OF MULTIPHASE FLOW IN OFFSHORE OIL-GAS SEPARATORS FOR ALGERIAN FIELDS	Dr. Nadia Zerhouni, Karim Mansouri, Lounis Brahimi
		7	DESIGN OF LIGHTWEIGHT SANDWICH COMPOSITES FOR HIGH-SPEED RAILCAR BODIES UNDER IMPACT LOADING	Prof. Dr. Farid Benali, Assis. Prof. Dr. Amina Bouzid
		8	HYBRID SOLAR-GEOTHERMAL POWER GENERATION SYSTEMS OPTIMIZED FOR PAKISTANI GRID INTEGRATION	Assoc. Prof. Dr. Bilal Ahmed, Dr. Sana Malik, Arif Khan
		9	TRIBOLOGICAL PERFORMANCE ENHANCEMENT OF CYLINDER LINERS THROUGH LASER TEXTURING FOR PAKISTANI AUTOMOBILE INDUSTRY	Dr. Hina Gul, Muhammad Faisal, Prof. Dr. Rabia Saleem
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
25 Aralık / Dec 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assis. Prof. Dr. Amir Ghasemi,	1	QUANTUM ENTANGLEMENT DYNAMICS IN GRAPHENE-BASED NANOSTRUCTURES UNDER EXTERNAL MAGNETIC FIELDS	Prof. Dr. Reza Hosseini, Dr. Mina Ahmadi,
		2	TOPOLOGICAL PHASE TRANSITIONS IN PERIODICALLY DRIVEN DIRAC MATERIALS WITH NON-RECIPROCAL INTERACTIONS	Assoc. Prof. Dr. Farhad Jafari, Sara Mahmoudi
		3	HIGH-HARMONIC GENERATION FROM RELATIVISTIC PLASMA MIRRORS IN ULTRA-INTENSE LASER FIELDS	Dr. Hossein Rezaei, Prof. Dr. Behnam Sabouri, Neda Khalili, Parisa Ebrahimi
		4	THERMODYNAMIC PHASE DIAGRAMS OF STRONGLY CORRELATED ELECTRON SYSTEMS NEAR QUANTUM CRITICAL POINTS	Assis. Prof. Dr. Amir Ghasemi,
		5	STUDY OF NEUTRON STAR EQUATIONS OF STATE THROUGH GW170817 MULTIMESSENGER OBSERVATIONS	Prof. Dr. Dimitris Kapodistrias, Dr. Eleni Papadopoulou
		6	PHOTONIC TOPOLOGICAL INSULATORS BASED ON PERIODICALLY PERFORATED METAMATERIALS	Assoc. Prof. Dr. Kostas Eleftheriadis, Maria Stavroula
		7	DARK MATTER DETECTION THROUGH ANNUAL MODULATION SIGNALS IN XENON TIME PROJECTION CHAMBERS	Dr. Nikolaos Voulgarakis, Prof. Dr. Georgios Katsioulas
		8	STUDY OF QUARK-GLUON PLASMA PROPERTIES THROUGH HEAVY ION COLLISIONS AT THE LHC	Dr. Vikram Singh,
		9	INVESTIGATION OF MAJORANA ZERO MODES IN IRON-BASED SUPERCONDUCTOR NANOWIRES	Dr. Rajesh Kumar
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Doç. Dr. Burcu GEZER ŞEN**	1	GÜNÜMÜZDE ÇOCUĞUN SOSYAL DEĞERİ: GENÇ KADINLAR PERSPEKTİFİNDEN NİTEL BİR ANALİZ	Prof. Dr. Dolunay ŞENOL Dr. Gıyasettin YILDIZ
		2	YAŞAM DÖNEMLERİ VE TOPLUMSAL CİNSİYET BAĞLAMINDA YAŞLI KADINLARIN PİŞMANLIKLARI: NİTEL BİR İNCELEME	Prof. Dr. Dolunay ŞENOL Dr. Gıyasettin YILDIZ
		3	A Life Course Perspective on the Loneliness Experiences of Turkish Migrants in Germany: A Literature Review Across Three Generations	Süheyla Sönmez Demirci
		4	AN EVALUATION OF KORKUT TUNA'S CONTRIBUTIONS TO URBAN SOCIOLOGY	Doç. Dr. Emrullah TÜRK
		5	CULTURAL AND SOCIAL DIMENSIONS OF PUPPET THEATRE-BASED NARRATIVES IN EARLY CHILDHOOD	Doç. Dr. Burcu GEZER ŞEN
		6	EVALUATION OF PUPPET-BASED PROGRAM CONTENT IN THE CONTEXT OF LEARNING EXPERIENCES IN EARLY CHILDHOOD	Doç. Dr. Burcu GEZER ŞEN
		7	TOPLUMSAL SINIRLARIN YENIDEN ÜRETIMI: SURIYE'YE GERI DÖNÜŞTE YABANCILAŞMA VE YEREL KABUL	Öğr. Gör. Dr. Abdullah Gökhan YAŞA
		8	DIASPORA DENEYIMI SONRASI SOSYAL HAVALELER: SURIYE BAĞLAMINDA NORM, PRATIK VE KURUMSAL PRATIK TRANSFERI	Öğr. Gör. Dr. Abdullah Gökhan YAŞA

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Doç. Dr. Salih DEĞİRMENCİ**	1	FEN BİLİMLERİ DERSİNDE PERFORMANS GÖREVLERİNİN ALTERNATİF DEĞERLENDİRME ARACI OLARAK KULLANIMINA İLİŞKİN ÖĞRENCİ GÖRÜŞLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Yunus BOLAT Prof.Dr. Şafak ULUÇINAR SAĞIR
		2	FEN BİLİMLERİ DERSİNDE ARGÜMANTASYON TEMELLİ ÖĞRETİMİN ETKİLİĞİNİN BİLİŞSEL DÜZEYDE İNCELENMESİ	Prof.Dr. Şafak ULUÇINAR SAĞIR Fatma AYKUL KOÇ
		3	FEN BİLİMLERİ ÖĞRETMENLERİNİN DERSLERİNDE SİMÜLASYON VE SANAL LABORATUVAR KULLANIMINA YÖNELİK GÖRÜŞLERİNİN BELİRLENMESİ	Prof. Dr. Hülya YILMAZ Sanem HANER
		4	TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ KAPSAMINDA 9. SINIF BİYOLOJİ DERS KİTABINDA BİLİM İNSANLARININ TEMSİLLERİNİN ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi Sultan ÇIKRIK
		5	BİYOLOJİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ GELECEK PLANLARI VE ENDİŞELERİNİN ZİHİN HARİTASI YÖNTEMİ İLE ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi Sultan ÇIKRIK
		6	AN ERROR-BASED ACTİVİTY DESİGN FOCUSED ON ELECTRİCAL RESİSTANCE	Doç. Dr. Salih DEĞİRMENCİ
		7	ÇEVRESEL BOZULMAYA YENİ BİR BAKIŞ AÇISI: EĞİTİM VE EKOLOJİK AYAK İZİ ARASINDAKİ İLİŞKİ	Prof. Dr. FINDIK ÖZLEM ALPER ESRA AKBAŞ ZARA GÜLER CANBAY
		8	İNSAN SİNİR VE ENDOKRİN SİSTEMİ KONUSUNUN ÖĞRETİMİNDE UNPLUGGED BİLGİ-İŞLEMSEL DÜŞÜNME YAKLAŞIMI	Dr. Aydan AYTEKİN Prof. Dr. Mustafa Sami TOPÇU
			K-12 DÜZEYİNDE OKUL YÖNETİCİLERİNİN YAPAY ZEKA ASİSTANLARINA YÖNELİK TUTUMLARININ İNCELENMESİ	Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Akın Bulut Esra DEMİRCİ Ahmet ORAKÇI Rabi YAKIŞIKLI Mustafa Hamza BİRSİN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assistant Prof. Melike PAK**	1	SOSYAL HİZMET UZMANLARININ UYGULAMADA KARŞILAŞTIĞI ŞİDDET VE GÜVENLİK SORUNLARI	Yüksek Lisans Öğrencisi Hatice ACAR
		2	AN EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN EDUCATIONAL DURATION AND AGE AT FIRST MARRIAGE İN TERMS OF BIRTH RATES İN TÜRKIYE	Res. Asst. Mustafa Emin AKÇİN
		3	A REVIEW OF GRADUATE THESES ON DOWN SYNDROME IN TÜRKİYE	Res. Asst. Mustafa Emin AKÇİN
		4	TRABZON'DA YAŞAYAN AFGANİSTAN UYRUKLU KADIN GÖÇMENLERİN YEREL TOPLUMLA YAŞAM PRATİKLERİ	Öğr. Gör. Muhlise CANLI
		5	CROSS-CULTURAL COMPARİSON OF PARENTS' KNOWLEDGE AND ATTİTUDES REGARDİNG HEALTHY SEXUAL DEVELOPMENT İN CHİLDREN	Öğr.Gör.Tuğba YAZICI ÇAKIROĞLU
		6	EFFECTS OF NATURAL DISASTERS ON FAMILY FUNCTIONING	Assistant Prof. Melike PAK
		7	GENÇ SOSYAL HİZMET UZMANLARININ EKSİK İSTİHDAMDA DENEYİMLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Fatmanur DUMAN
		8		
		9		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Rıdvan ERGİN**	1	BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ARAŞTIRMALARINDA KULLANILAN SOSYOLOJİK ÖLÇEKLER	Arş. Gör. Nazlıcan TAŞTAN Dr. Öğr. Üyesi Gamze Yıldırım ARAZ Doç. Dr. Cüneyt TAŞKIN Arş. Gör. Berkant AYDEMİR
		2	BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ARAŞTIRMALARINDA KULLANILAN PSİKOMETRİK ÖLÇEKLER	Doç. Dr. Cüneyt TAŞKIN Arş. Gör. Nazlıcan TAŞTAN Arş. Gör. Berkant AYDEMİR Dr. Öğr. Üyesi Gamze Yıldırım ARAZ
		3	DİJİTAL VE GELENEKSEL SPORCULARDA YARATICILIK VE MOTİVASYON EĞİLİMLERİ	Arş. Gör. Berkant AYDEMİR Doç. Dr. Cüneyt TAŞKIN Dr. Öğr. Üyesi Gamze Yıldırım ARAZ Arş. Gör. Nazlıcan TAŞTAN
		4	SPORTİF PERFORMANSTA DİKKATİ ETKİLEYEN BİREYSEL FAKTÖRLER: TEORİK BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi Gamze Yıldırım ARAZ Arş. Gör. Berkant AYDEMİR Arş. Gör. Nazlıcan TAŞTAN Doç. Dr. Cüneyt TAŞKIN
		5	DEBT MANAGEMENT IN FOOTBALL CLUBS: SUCCESSFUL AND UNSUCCESSFUL EXAMPLES	Dr. İsmail ÖNER Asst Prof Tarkan SÖĞÜT Doç. Dr. Emine ÖZTÜRK KARATAŞ Prof. Dr. Özgür KARATAŞ
		6	Management Issues in the Recreational Use of Sports Facilities	Doç. Dr. Emine ÖZTÜRK KARATAŞ Dr. İsmail ÖNER Asst Prof Tarkan SÖĞÜT Prof. Dr. Özgür KARATAŞ
		7	EVALUATION OF AGILITY PERFORMANCE IN VOLLEYBALL	Doç. Dr. Rıdvan ERGİN
		8	THE RELATİONSHİP BETWEEN ATTİTUDES TOWARD SPORTS AND INTERNET ADDİCTİON AMONG GENERATİON Z UNİVERSİTY STUDENTS	Res. Assist. Yağmur ÖZTÜRK Hatice UĞUZ
		9	EMOTION RECOGNITION TECHNOLOGIES IN SPORTS	Prof. Dr. Talha MURATHAN Murat ATAY
		10	DIGITAL TRANSFORMATION IN COMBAT SPORTS	Murat ATAY Prof. Dr. Talha MURATHAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Melek ERDEK**	1	Melilotus indica (L.) All. KÖK NODÜLÜNDEN İZOLE EDİLEN Sinorhizobium meliloti 3BVE'NİN GENOMİK KARAKTERİZASYONU	Dr. Asiye Esra EREN EROĞLU Dr. Volkan EROĞLU Prof. Dr. İhsan YAŞA
		2	FERMENTE MEYVELERDEN İZOLE EDİLEN ETANOL DİRENÇLİ ASETİK ASİT BAKTERİLERİNİN FENOTİPİK-MOLEKÜLER KARAKTERİZASYONU	Gülperi BULUT ÖZBAY Prof. Dr. İhsan YAŞA
		3	AN EVALUATION ON THE EXTERNAL MORPHOLOGY OF THE SPECIES KARSCHIA (KARSCHIA) MASTIGOPHORA BIRULA, 1890 (SOLIFUGAE, KARSCHIIDAE)	Assoc. Prof. Dr. Melek ERDEK
		4	Cydonia Oblonga (AYVA) SULU EKSTRAKTININ ANTİBİYOFİLM AKTİVİTESİ	Arş. Gör. Pınar Elife DOĞAN Doç. Dr. Arzu ÖZKARA Doç. Dr. Dilek AKYIL Prof. Dr. İbrahim Hakkı CİĞERCİ
		5	Thymus serpyllum (YABANİ KEKİK) BİTKİSİNİN SULU EKTRAKTININ Staphylococcus aureus ve Pseudomonas aeruginosa ÜZERİNDE ANTİBİYOFİLM AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ	Doç. Dr. Arzu ÖZKARA Doç. Dr. Dilek AKYIL Arş. Gör. Pınar Elife DOĞAN Prof. Dr. İbrahim Hakkı CİĞERCİ
		6	Tilia tomentosa (GÜMÜŞİ IHLAMUR)'UN POTANSİYEL ANTİBİYOFİLM AKTİVİTESİNİN ARAŞTIRILMASI	Doç. Dr. Dilek AKYIL Arş. Gör. Pınar Elife DOĞAN Doç. Dr. Arzu ÖZKARA Prof. Dr. İbrahim Hakkı CİĞERCİ
		7	AYDIN İLİ'NDEN TOPLANAN KESTANE YAPRAKLARIYLA İLİŞKİLİ MİKOBİYOTA	Doç. Dr. Çiğdem YAMANER Yüksek Lisans Öğrencisi Kevser ALTAN
		8	FARKLI Trichoderma spp. İZOLATLARININ BAZI BİTKİ PATOJENİ FUNGUSLARA KARŞI In vitro ANTAGONİSTİK ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ	Doç. Dr. Çiğdem YAMANER Yüksek Lisans Öğrencisi Hande Nur SÜRÜCÜ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Şebnem YILDIZ YAR**	1	An Application Of The Theorem On Absolute Matrix summability	Prof. Dr. Şebnem YILDIZ YAR
		2	ANALYTICAL OR SEMI-ANALYTICAL SOLUTIONS TO NONLINEAR TIME FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS THROUGH A HYBRID METHOD	Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA Prof. Dr. Ali DEMIR
		3	NUMERICAL SOLUTION OF TIME FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATION THROUGH A NUMERICAL METHOD	Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA Prof. Dr. Ali DEMIR
		4	A CONSTRUCTION OF THE SHAPE OPERATOR OF A RULED HYPERSURFACE	Assist. Prof. Dr. Gül UĞUR KAYMANLI
		5	ABSOLUTE SUMMABILITY FACTORS RELATED TO THE SUMMABILITY |C^q,φ|(λ)	Assoc. Prof. Dr. Fadime GÖKÇE
		6	SOME COMPARISON RELATIONSHIPS IN ABSOLUTE q-CESA`RO METHODS	Assoc. Prof. Dr. Fadime GÖKÇE
		7	SONSUZ ARALIKTA İKİNCİ MERTEBEDEN IMPULSIVE SINIR DEĞER PROBLEMLERİ	Yüksek Lisans öğrencisi Vildan Havle AKER Prof.Dr.İlkay KARACA
		8	NEW GENERALIZED CONTRACTIONS ON S-METRIC SPACES	Assoc. Prof. Dr. Nihal TAŞ Asst. Prof. Elif KAPLAN
			C_G-KHAN TYPE FIXED-CIRCLE RESULTS ON G-METRIC SPACES	Assoc. Prof. Dr. Nihal TAŞ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Gültekin Gürçay**	1	EMERGING TECHNOLOGIES AND AFRICA: AI AND DIGITALIZATION	Joel John Omini
		2	SUSTAINABLE CONCRETE FROM WASTE: SYNERGISTIC USE OF SEWAGE SLUDGE ASH, SILICA FUME AND RECYCLED PLASTIC.	Babatunde Olufunso Oluwole Ömer Damdelen Stephen Babajide Olabimtan
		3	BIOCHAR-ENHANCED CEMENT MORTAR USING PYROLYZED POSIDONIA OCEANICA LEAVES: MECHANICAL, AND DURABILITY PROPERTIES	Stephen Babajide Olabimtan Mohammad Ali Mosaberpanah Babatunde Olufunso Oluwole
		4	BREAST CANCER DETECTION USING DEEP LEARNING POWERED APPROACH	Misbahu Koramar Boko Lawal Pwadubashiyi Coston Pwavodi Abdullahi Umar Ibrahim Abdullahi Garba Usman
		5	Impact of climate change on the quality and safety of water resources for the agri-food industry	Ali Khalfa Azzeddine Senouci Mounir Chihab Bouazza Sofiane
		6	INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE COMPRESSION STRENGTH OF PINE (Pinus nigra Arn.) AND BEECH (Fagus sylvatica L.)	Holta ÇOTA Besar SHEHU Entela LATO Doklea QUKU

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Amaneh Manafidizaji**	1	THE PERCEPTIONS OF NURSING STUDENTS REGARDING ORGAN DONATION	Dr. Julian Kraja Erisilda Hasramaj Elsjona Qallija Sebastjan Mjekaj
		2	Tinospora Cordifolia-Mediated Nanoparticles: Bridging Ethnomedicine and Modern Cancer Therapy	Assist. Prof. K.R.Padma
		3	DIAGNOSIS OF PINWORM INFECTION BY USING SCOTCH-TEST: A CROSS SECTION-BASED EPIDEMIOLOGICAL SURVEY	Prof. Asoc. ERJONA ABAZAJ Prof. Asoc. OLTIANA PETRI Dr. ELA ALI Dr. BRUNILDA HYSAJ Msc. LEDIA ZHGABA Prof. Dr. SHPËTIM QYRA
		4	PREVALENCE OF HEALTHCARE-ASSOCIATED INFECTIONS IN “MOTHER TERESA” UNIVERSITY HOSPITAL AND REGIONAL DURRES HOSPITAL	MD.PhD. Zahide Sulejmani Prof. Asoc. Gjergji Koja Prof. Asoc. Erjona Abazaj Elja Sulejmani
		5	IMPACT OF PROBIOTICS, PREBIOTICS, AND THE GUT MICROBIOME ON SPORTS PERFORMANCE IN ADOLESCENTS: A STRUCTURED PRISMA-STYLE REVIEW	Phd (c) Dorian Meta Assoc. Prof. Oltiana Petri MD
		6	LEVEL OF STRESS, AND BURNOUT AMONG NURSING STAFF IN THE WORKPLACE: A CORRELATIONAL STUDY IN A REGIONAL HOSPITAL	Dr. can. Silvana Belisha Prof. Dr. Ilirjana Zekja Prof. Dr. Erjona Abazaj Doc. Valbona Dibra Dr. cand. Elsjona Qallija
		7	SUPPLEMENTS IN ATHLETES; TRENDS AND AWARENESS IN IMPLICATION WITH MICROBIOTIA	Oltiana Petri Erjona Abazaj Dorian Meta Genti Pano Albana Daka Vjollca Shpata

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Lawson Domingo Adeniyi**	1	THE ROLE OF TOURISM IN PROMOTING ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY	Lawson Domingo Adeniyi
		2	BANKING AND FINANCE IN THE DIGITAL ERA: IMPLICATIONS FOR INCLUSION, STABILITY AND SUSTAINABLE GROWTH	Geoffrey Eboson
		3	COOPERATIVE SECURITY IN THE EAST MEDITERRANEAN: RECONCILING POWER COMPETITION, MIGRATION, AND CLIMATE RISKS	Adewale Rotimi Ologuntoye
		4	Turkey's Strategic Balancing Act: Navigating Refugee Politics and Regional Security in the Middle East	Paul Kaffo Lahai
		5	STRATEGIC APPROACHES TO ENHANCING ORGANIZATIONAL PERFORMANCE IN CONTEMPORARY BUSINESS MANAGEMENT	Godwin Nwachukwu
		6	INSIGHTS INTO A TEACHER-INFLUENCER'S (E)-TEACHING PRACTICES WITH EFL ALGRIAN SECONDARY STUDENTS	Rafik El-Amine GHOBRINI Younes Rami AOUN Yasmine BELKHIR
		7	THE ROLE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN STRENGTHENING CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT SYSTEMS (CRM)	OLAWUNMI AZEEZAT AKANBI
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Mehdi Seraj**	1	IMPACT OF EMOTIONAL INTELLIGENCE AND LEADERSHIP EMPOWERMENT ON WORK ENGAGEMENT AND PSYCHOLOGICAL EMPOWERMENT	Christopher Richard Omoike
		2	Talent Management: The Impact of Artificial Intelligence (AI) inTransforming Human Resources in a Company.	Mamadou Samba Koulibaly
		3	ANALYSIS OF WAYS AND MEANS TO REDUCE POVERTY: THE CASE OF 18 COUNTRIES IN SUB- SAHARAN AFRICA FROM 1993 TO 2021.	Narcisse Wynton Dagbaud Mehdi Seraj
		4	THE SOIL PRODUCTIVITY PARADOX: ANALYZING THE ROLE OF FERTILIZERS, FDI, AND HUMAN CAPITAL IN AFRICAN AGRICULTURE	Levi Mbaka Matimbia Mehdi Seraj
		5	A PROTOCOL IN COLLECTING SOCIAL SCIENCES DATA FROM MINORS IN MALAYSIA	Siti Nurhayati Khairatun
		6	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE CRITICAL THINKING OF FUTURE COACHES WHEN DRAWING UP TRAINING PLANS: AN AID OR A SUBSTITUTE?	Algirdas Pupkis

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:30 –13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Andreas Karras,	1	NOVEL NANOPARTICLE-BASED DRUG DELIVERY SYSTEMS FOR TARGETED BREAST CANCER THERAPY IN IRANIAN PATIENTS	Prof. Dr. Reza Mahmoudi, Dr. Sara Ahmadi, Ali Jafari
		2	GENETIC MARKERS OF TYPE 2 DIABETES SUSCEPTIBILITY IN IRANIAN POPULATIONS WITH CONSANGUINEOUS MARRIAGES	Assoc. Prof. Dr. Hossein Rezaei, Mina Karimi, Dr. Farhad Tavakoli
		3	STEM CELL THERAPY APPLICATIONS FOR CHRONIC WOUND HEALING IN DIABETIC PATIENTS FROM RURAL IRAN	Dr. Leila Hosseini, Assoc. Prof. Dr. Amir Ghasemi
		4	NEUROPROTECTIVE EFFECTS OF SAFFRON EXTRACT IN EARLY-STAGE ALZHEIMER'S DISEASE PATIENTS	Prof. Dr. Mohammad Aliabadi, Zahra Mahmoudi
		5	MEDiterranean DIET ADHERENCE AND CARDIOVASCULAR RISK REDUCTION IN GREEK ISLAND POPULATIONS	Dr. Eleni Papadopoulos, Prof. Dr. Kostas Dimitriadis, Maria Stavrou
		6	GENE THERAPY APPROACHES FOR BETA-THALASSEMIA MAJOR IN GREEK PEDIATRIC COHORTS	Assoc. Prof. Dr. Sophia Antoniou, Nikos Georgiou
		7	TELEMEDICINE IMPLEMENTATION FOR RHEUMATOID ARTHRITIS MANAGEMENT IN RURAL GREEK REGIONS	Dr. Andreas Karras, Assis. Prof. Dr. Elena Markou
		8	AYURVEDIC INTEGRATIVE APPROACHES FOR CHRONIC KIDNEY DISEASE MANAGEMENT IN INDIAN DIABETIC PATIENTS	Prof. Dr. Vikram Sharma, Dr. Priya Menon, Rajesh Nair
		9	NEURAL NETWORK MODELS FOR EARLY LUNG CANCER DETECTION USING LOW-DOSE CT SCANS IN SMOKING PREVALENT REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Anjali Patel, Sanjay Gupta, Dr. Meera Joshi
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:30 –13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assis. Prof. Dr. Reza Tavakoli	1	ADVANCES IN APPLICATIONS OF FUZZY TOPOLOGY TO MEDICAL IMAGE SEGMENTATION PROBLEMS	Prof. Dr. Mohammad Rezaei, Ali Karimi, Dr. Sara Ahmadi
		2	GRAPH-THEORETIC MODELS FOR OPTIMIZING URBAN TRAFFIC NETWORKS UNDER UNCERTAINTY	Assoc. Prof. Dr. Hossein Jafari, Fatemeh Mahmoudi
		3	NUMERICAL SOLUTIONS FOR NONLINEAR FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN BIOMEDICAL MODELING	Dr. Leila Hosseini, Nima Bahrami, Assis. Prof. Dr. Reza Tavakoli
		4	ALGEBRAIC STRUCTURES AND CRYPTOGRAPHIC PROTOCOLS BASED ON QUANTUM ERROR CORRECTION CODES	Prof. Dr. Amir Ghasemi, Zahra Khalili
		5	STOCHASTIC PROCESSES AND RISK ASSESSMENT MODELS FOR RENEWABLE ENERGY GRIDS	Dr. Konstantinos Papadopoulos, Maria Stavropoulou
		6	GEOMETRIC ANALYSIS OF RIEMANNIAN MANIFOLDS WITH NON-POSITIVE CURVATURE	Assoc. Prof. Dr. Dimitrios Nikolaou, Elias Georgiou
		7	FUNCTIONAL ANALYSIS APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORY ON CURVED SPACEMANIFOLDS	Prof. Dr. Ioannis Antoniadis
		8	NUMERICAL METHODS FOR SOLVING PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN PETROLEUM RESERVOIR SIMULATION	Dr. Faisal Alghamdi, Assoc. Prof. Dr. Noor Alotaibi
		9	COMBINATORIAL OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR LOGISTICS NETWORK DESIGN IN ARABIAN PENINSULA	Assis. Prof. Dr. Khalid Alharbi, Sarah Mansour
		10	ALGEBRAIC GEOMETRY METHODS IN CODING THEORY FOR 6G COMMUNICATION SYSTEMS	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka, Dr. Yuko Nakamura
		11	STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS MODELING NEURONAL DYNAMICS IN JAPANESE AGING POPULATIONS	Assoc. Prof. Dr. Kenji Sato, Aiko Mori, Dr. Taro Ikeda

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:30 –13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assis. Prof. Dr. Daulet Moldagulov	1	ADVANCED NANOCOMPOSITES FOR HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT STRUCTURAL APPLICATIONS IN CENTRAL ASIA	Prof. Dr. Aibek Tulegenov, Dr. Madina Sarsenova
		2	THERMOELECTRIC MATERIAL OPTIMIZATION FOR ENERGY HARVESTING IN HARSH CLIMATES	Assoc. Prof. Dr. Nurzhan Bekbolatov, Aidana Zhumagaliyeva
		3	BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR SUSTAINABLE PACKAGING SOLUTIONS	Dr. Erlan Korganbayev, Saltanat Abildinova, Assis. Prof. Dr. Daulet Moldagulov
		4	CERAMIC MATRIX COMPOSITES FOR HIGH-TEMPERATURE TURBINE BLADES	Prof. Dr. Zhanna Iskakova
		5	PHOTOVOLTAIC MODULE ENCAPSULANTS WITH ENHANCED UV STABILITY FOR DESERT CONDITIONS	Assoc. Prof. Dr. Sami Ben Ali, Dr. Nadia Kallel
		6	TITANIUM ALLOYS WITH IMPROVED WEAR RESISTANCE FOR OFFSHORE APPLICATIONS	Dr. Hassen Trabelsi, Mariem Jrad, Prof. Dr. Anis Bouaziz
		7	FUNCTIONALIZED CARBON NANOTUBES FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODES	Assis. Prof. Dr. Wajdi Ghorbal
		8	BIOCOMPATIBLE HYDROGELS FOR BONE TISSUE ENGINEERING SCAFFOLDS	Prof. Dr. Fatima Zahra El Alaoui, Dr. Karim El Khadiri
		9	MAGNETORHEOLOGICAL FLUIDS FOR ADAPTIVE VIBRATION DAMPING SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Youssef El Hamzaoui, Amina Lahlou

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:30 –13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Hassan Tavakoli,	1	ANTHELMINTIC RESISTANCE PATTERNS IN SHEEP HELMINTH POPULATIONS ACROSS AZERBAIJAN'S SHEKI REGION	Prof. Dr. Aysel Mammadova, Dr. Elvin Kerimov, Zara Huseynova
		2	MASTITIS PATHOGEN PREVALENCE AND ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY IN DAIRY COWS FROM BAKU SUBURBS	Assoc. Prof. Dr. Rashad Abbasov, Leyla Ismayilova
		3	VIRAL HEMORRHAGIC SEPTICEMIA IMPACT ON AQUACULTURE RAINBOW TROUT FARMS IN AZERBAIJAN	Dr. Nigar Gafarova, Kamran Mirzayev, Prof. Dr. Sevinc Nuriyeva
		4	NUTRITIONAL MANAGEMENT OF POSTPARTURIENT METABOLIC DISORDERS IN AZERBAIJANI DAIRY HERDS	Elchin Safarov, Dr. Aida Kerimova
		5	CAMELID DERMATOPHILOSIS CONTROL STRATEGIES IN IRANIAN SEMI-ARID REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Mohammad Rezaei, Fatemeh Karimi
		6	EQUINE GASTRIC ULCER SYNDROME PREVALENCE AMONG RACING THOROUGHBREDS IN TEHRAN	Dr. Hassan Tavakoli, Soraya Mahmoudi, Ali Jafari
		7	ANTIVIRAL HERBAL FORMULATIONS FOR NEWCASTLE DISEASE PREVENTION IN BACKYARD POULTRY	Prof. Dr. Zahra Ahmadi, Leila Bahrami
		8	PORCINE REPRODUCTIVE AND RESPIRATORY SYNDROME CONTROL IN INTENSIVE PIG FARMS OF NORTH MACEDONIA	Assoc. Prof. Dr. Nikola Petrovski, Elena Georgieva
		9	ANTIBIOTIC STEWARDSHIP PROGRAMS IN NORTH MACEDONIAN POULTRY INTEGRATION	Assis. Prof. Dr. Biljana Stojanova, Saso Kostovski
		10	BOVINE TUBERCULOSIS TRANSMISSION DYNAMICS AT LIVESTOCK-WILDLIFE INTERFACES IN MACEDONIA	Dr. Marija Ivanovska, Goran Trajkovski
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:30 –13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Elena Garcia,	1	EPIDEMIOLOGICAL INVESTIGATION OF BRUCELLOSIS IN DAIRY CATTLE HERDS ACROSS NORTHERN IRAN	Prof. Dr. Mohammad Rezaei, Sara Ahmadi, Ali Jafari
		2	THERAPEUTIC EFFICACY OF HERBAL NANOPARTICLES AGAINST MASTITIS IN IRANIAN SHEEP FLOCKS	Assoc. Prof. Dr. Fatemeh Karimi, Hassan Tavakoli
		3	PARASITOLOGICAL SURVEY OF GASTROINTESTINAL NEMATODES IN CAMELS UNDER INTENSIVE FARMING	Dr. Leila Hosseini, Nima Bahrami, Zahra Mahmoudi
		4	VACCINE DEVELOPMENT FOR NEWCASTLE DISEASE VIRUS IN BACKYARD POULTRY SYSTEMS	Reza Jalali, Prof. Dr. Mina Sharifi
		5	ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP PROGRAMS FOR SWINE RESPIRATORY DISEASES IN PHILIPPINE FARMS	Assoc. Prof. Dr. Maria Santos, Dr. Jose Rizalino
		6	ZOONOTIC LEPTOSPIROSIS TRANSMISSION DYNAMICS IN URBAN-RURAL INTERFACE COMMUNITIES	Luzviminda Cruz, Roberto Villanueva, Assis. Prof. Dr. Ana Reyes
		7	NUTRITIONAL MANAGEMENT OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE RECOVERY IN CARABAO DAIRY HERDS	Dr. Elena Garcia, Mark Torres
		8	THERMAL STRESS MITIGATION STRATEGIES FOR DAIRY GOATS IN OMAN'S ARID ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Ahmed Al-Maskari, Fatima Said
		9	THERMAL STRESS MITIGATION STRATEGIES FOR DAIRY GOATS IN OMAN'S ARID ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Ahmed Al-Maskari, Fatima Said
		10	PARATUBERCULOSIS CONTROL PROGRAMS IN OMANI SHEEP AND GOAT POPULATIONS	Dr. Mariam Al-Kindi, Hassan Mubarak
		11	INNOVATIVE WASTEWATER TREATMENT USING Moringa oleifera SEEDS FOR RURAL NIGERIAN COMMUNITIES	Prof. Dr. Chukwuma Okonko, Ngozi Eze, Adebayo Ojo
		12	BIOREMEDIATION OF OIL-SPILL CONTAMINATED SOILS USING CONSORTIUM OF INDIGENOUS MICROORGANISMS	Dr. Fatima Yusuf, Emeka Nwankwo

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:30 –13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Chen Hao,	1	QUANTUM ENTANGLEMENT IN NON-LOCAL CORRELATIONS USING ALGERIAN PHOTONIC SYSTEMS	Prof. Dr. Karim Belkacem, Dr. Nadia Zerhouni, Yassine Amrani
		2	SUPERCONDUCTING THIN FILMS FOR HIGH-FIELD MAGNET APPLICATIONS IN ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Samir Lounis, Amina Bouzid
		3	PLASMA PHYSICS MODELING FOR MAGNETIZED FUSION CONFINEMENT STUDIES	Dr. Mehdi Chergui, Farid Benali, Samia Haddad
		4	NONLINEAR OPTICS IN PERIODICALLY POLED LITHIUM NIOBATE FOR ALGERIAN QUANTUM SOURCES	Assis. Prof. Dr. Houari Boukhari, Nourredine Mansouri
		5	TOPOLOGICAL INSULATORS FOR SPINTRONIC DEVICES IN ADVANCED CHINESE FABRICATION	Prof. Dr. Zhang Wei, Li Ming, Wang Jing
		6	STRONG FIELD LASER PHYSICS FOR ATTOSECOND PULSE GENERATION	Assoc. Prof. Dr. Chen Hao, Liu Yang
		7	NEUTRON SCATTERING STUDIES OF QUANTUM MAGNETS IN CHINESE RESEARCH REACTORS	Dr. Xu Peng, Zhou Qian, Sun Lei
		8	QUANTUM DOTS FOR SINGLE PHOTON SOURCES IN INDIAN OPTOELECTRONICS	Prof. Dr. Rajesh Kumar, Priya Sharma
		9	GRAVITATIONAL WAVE DETECTION WITH INDIAN LASER INTERFEROMETRY	Assoc. Prof. Dr. Sanjay Patel, Amit Singh, Neha Gupta
		10	2D MATERIALS FOR VALLEYTRONICS AND OPTOVALLEYTRONICS APPLICATIONS	Dr. Vikram Reddy, Anjali Desai
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 11:30 –13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Youssef Idrissi**	1	PLASTIC WASTE VALORIZATION THROUGH PYROLYSIS FOR ENERGY RECOVERY IN LAGOS METROPOLIS	Assoc. Prof. Dr. Olusegun Adeyemi, Chioma Okoro
		2	CLIMATE-ADAPTIVE URBAN DRAINAGE SYSTEMS FOR FLOOD MITIGATION IN ABUJA CITY	Dr. Aminu Bello, Tunde Afolabi, Prof. Dr. Grace Eke
		3	DESALINATION TECHNOLOGIES FOR COASTAL WATER SECURITY IN MOROCCAN AGRICULTURE	Assoc. Prof. Dr. Hassan El Amrani, Fatima Zahra, Karim Bennani
		4	WIND-BREAK VEGETATION BELTS FOR COMBATING SAHARAN DESERTIFICATION IN MOROCCO	Prof. Dr. Amina Serghini, Dr. Youssef Idrissi
		5	MICROPLASTIC REMOVAL FROM MARINE AQUACULTURE EFFLUENTS IN CASABLANCA COASTAL WATERS	Nabil Khaddour, Assoc. Prof. Dr. Salma El Ouardi
		6	BIOGAS PRODUCTION FROM MUNICIPAL ORGANIC WASTE FOR NAIROBI ENERGY ACCESS	Prof. Dr. James Mwangi, Dr. Esther Wanjiku, Kevin Ochieng
		7	WETLAND RESTORATION FOR HEAVY METAL PHYTOREMEDIATION IN NAIROBI RIVER BASIN	Wangui Kariuki, Assoc. Prof. Dr. Paul Mwaniki
		8	SOLAR-DRIVEN ATMOSPHERIC WATER HARVESTING FOR ARID NORTHERN KENYAN COMMUNITIES	Dr. Amina Hassan, Elias Kipchoge, Prof. Dr. Miriam Chege

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Arş. Gör. Afra Banu ERGİN Öğr. Gör. Hilal Ok BOSTAN**	1	EKSTREMİTELER VE ABDOMİNAL BÖLGEYİ TUTAN YAYGIN LİPOMATOZİS: OLGU SUNUMU	Uzman Doktor Fatih TAHAK Uzman Doktor Sezgin Kıymık
		2	SİGARA İÇEN BİREYLERDE SPELEOTERAPİNİN SOLUNUM FONKSİYONLARINA ETKİSİ	Ögr. Gör. Uğur BAĞCI Prof. Dr. Hasan Kerem ALPTEKİN Dr. Öğr. Üyesi Sefa Haktan HATIK Dr. Öğr. Üyesi Emine Büşra AYDIN
		3	EVALUATION OF HUMAN PAPILLOMAVIRUS (HPV) KNOWLEDGE LEVELS AMONG UŞAK UNIVERSITY STUDENTS	Fatma Nur AKDOĞAN KİTTANA Soycan TÜNER Yunus Alp Soysal Ayşe KARAKUŞ Muhammed Kadir YÖRÜYEN Ceylin ERDOĞAN Ceren Sıla TÜRK Aleyna BAŞ Selen Ece TOPBAŞ İsmail YETGİN Dilara POLAT Sudenur KABUKÇU Ahu Beyza KOŞARHAN
		4	BEYİN KAYNAKLI NÖROTROFİK FAKTÖR ve BEYİN SAĞLIĞINDAKİ ÖNEMİ	Esra YILMAZ MENGÜÇ Prof. Dr. Tünay KONTAŞ AŞKAR
		5	UNUSUAL ONSET OF SACROTUBEROUS LIGAMENT	Mehmet Batuhan Solmazer Gülşen Deren Yaman Birtan Demir Okan Bilge
		6	ZİRKONYA MARYLAND KÖPRÜLERİNİN KLİNİK UYGULAMASI: İKİ OLGU SUNUMU	Arş.Gör.Elisa ÇELİK Arş.Gör.Dağlar AKSAKAL Öğr.Gör.Hilal OK BOSTAN
		7	CASE REPORT: PROSTHETIC REHABILITATION OF AN ANTERIOR OPEN BITE CASE	Arş. Gör. Afra Banu ERGİN Öğr. Gör. Hilal Ok BOSTAN
		8	CASE REPORT: USE OF THE EXTRACTED TOOTH AS A PONTIC AND PROSTHETIC REHABILITATION WITH MONOLITHIC ZIRCONIA IN A PATIENT WITH PERIODONTAL AND ESTHETIC COMPLAINTS	Arş. Gör. Afra Banu ERGİN Öğr. Gör. Hilal Ok BOSTAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Öğr. Üyesi Deniz ÇOBAN ÖZKAN Doç. Dr. Fikret SÖNMEZ	1	ARAÇ RENKLERİNİN TERMAL PERFORMANS ÜZERİNE ETKİSİ VE YANSITICI KAPLAMA UYGULAMASI	Yüksek Lisans Öğrencisi Dilek Simge Karagül Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bakırcı
		2	SWCNT, DWCNT VE MWCNT KATKILARI İLE OLUŞTURULAN PROPANOL-DİZEL KARIŞIMLARININ EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ	Yahya ÇELEBİ
		3	TİTANYUM MALZEMELERDE ZAMANA BAĞLI OLARAK YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TAKIM AŞINMASININ İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Deniz ÇOBAN ÖZKAN Doç. Dr. Fikret SÖNMEZ
		4	CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİPROPİLEN YÜZEY TABAKALI ALÜMİNYUM BAL PETEĞİ SANDVİÇ KOMPOZİTLERİN YARI STATİK PENETRASYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ	Emre KOLCULAR Okan ÖZDEMİR Mustafa Mert KURDİŞ
		5	TAKVİYE KULLANIMININ ÇİFT BİNDİRMELİ YAPIŞTIRICI BAĞLANTILARIN MEKANİK DAVRANIŞINA ETKİSİ: SAYISAL BİR ÇALIŞMA	Makine Müh. Gizem Damla EKE Prof. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ
		6	COMPARATIVE STUDY OF LASER SURFACE TEXTURING AND THERMAL OXIDATION ON TI6AL4V TRIBOLOGY	Suzan SAKARYA Dr.Öğr.Gör. Niyazi ÇAVUŞOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Abdullah SERT
		7	NUMERICAL ANALYSIS OF THE CHANGE IN STABILITY BEHAVIOR OBSERVED IN WASHING MACHINES DEPENDING ON THE CONFIGURATION OF DAMPING ELEMENTS	Musa Uzun Zeki Kıral Onur Çolak Cahit Atagün
		8	Afet ve Kriz Yönetiminde Sürdürülebilir Çözüm: Güneş Enerjili Mobil Gıda Pişirme ve Dağıtım Ünitesi Tasarımı	Sefa DÖKECEKLİ Dr. Öğr.Üyesi İsmet Tıkız Şuayip Demir
		9	STUDY ON SEALING PERFORMANCE OF GREASE LUBRICATED ROTARY LIP SEALS WITH DETERMINISTIC MICRO-GROOVE TEXTURED ON SHAFT SURFACE	Görkem ARSLAN
		10	PELTIER ETKİLİ BİR SOĞUTMA SİSTEMİNİN TASARIMI, GERÇEKLENMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ	Doç. Dr. SİBEL AKKAYA OY Yüksek lisans Öğrencisi İLAYDA ARSLAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Arş. Gör. Cemre EMİR Prof. Dr. Betül TAŞPINAR**	1	FUTBOLCULARDA ALT EKSTREMİTE BACAK YARALANMALARI	Lisans Öğrencisi, Mehmet Ali ÇAL Arş. Gör. Polat YÜCEDAL Prof. Dr. Vedat ÇINAR
		2	PERFORMANSIN GÖRÜNMEYEN YÜZÜ: SPORCULARDA BESLENME VE YEME BOZUKLUKLARI	Lisans Öğrencisi, Gamze KILIÇASLAN Arş. Gör. Polat YÜCEDAL Prof. Dr. Vedat ÇINAR
		3	A COMPARISON OF PHYSICAL FITNESS PARAMETERS BETWEEN INDIVIDUALS WITH INTELLECTUAL DISABILITIES RECEIVING ADAPTED PHYSICAL ACTIVITY EDUCATION AND THOSE RECEIVING SWIMMING TRAINING	Seçil BULUŞ Prof. Dr. Betül AKYOL
		4	THE EFFECTS OF PHYSICAL ACTIVITY ON MOTOR DEVELOPMENT İN AUTISM SPECTRUM DİSORDER	Zehra POLAT Prof. Dr. Betül AKYOL
		5	KINOVEA-BASED VIDEO ANALYSIS APPROACHES IN THE EVALUATION OF SWIMMING PERFORMANCE	İsmet Safa KAPLAN Doç. Dr. Mehmet İMAMOĞLU
		6	COMPARISON OF FREESTYLE SWIMMING PERFORMANCES BY GENDER	İsmet Safa KAPLAN Doç. Dr. Mehmet İMAMOĞLU
		7	BEL AĞRISI OLAN HASTALARIN KAYROPRAKTİK TEDAVİ SONRASINDA SUBJEKTİF SAĞLIK ŞİKAYETLERİNİN YAŞAM KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Uzman Fizyoterapist Armin ASLANOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Berkay Eren PEHLİVANOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Sefa Haktan HATIK Dr. Öğr. Üyesi Demet BİÇKİ
		8	ALT EKSTREMİTE KAS OKSİJENASYONU VE NON-İNVAZİV DEĞERLENDİRİLMESİ	Arş. Gör. Cemre EMİR Prof. Dr. Betül TAŞPINAR
			PERİFERİK ARTER HASTALIĞINDA EGZERSİZE UYUM VE FİZYOTERAPİ TEMELLİ YAKLAŞIMLAR	Arş. Gör. Cemre EMİR Prof. Dr. Betül TAŞPINAR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assist. Prof. Dr. Serkan ENGİN**	1	SÜLFATLI SULARA MARUZ BETONLARIN BASINÇ DAYANIMI AÇISINDAN ARAŞTIRILMASI	Dr. Öğr. Üyesi Korkmaz Yıldırım
		2	EFFECT OF TOBACCO UNDERSIZE WASTE ON TECHNICAL PROPERTIES OF CEMENTITIOUS LIGHTWEIGHT COMPOSITE MORTARS	Civil Engineer Yasin DURMAZ Assist. Prof. Dr. Şevket Onur KALKAN Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ
		3	INFLUENCE OF RED MUD INCORPORATION ON THE SELF-CLEANING PERFORMANCE OF GYPSUM–LIME–SILICA FUME TERNARY BLENDED CEMENTLESS MORTARS	Civil Engineer Mehmet Tuna ERCEYLAN Assist. Prof. Dr. Şevket Onur KALKAN Assist. Prof. Dr. Üyesi Ahmet YAVAŞ Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ
		4	INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE 2007 AND 2018 TURKISH EARTHQUAKE CODES ON THE SEISMIC DEMANDS OF MID-RISE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES	Assist. Prof. Dr. Serkan ENGİN
		5	INFLUENCE OF NEAR-FAULT DIRECTIVITY EFFECTS ON BASE SHEAR DEMANDS OF SINGLE-DEGREE-OF-FREEDOM SYSTEMS	Civil Eng. Emirhan YILDIRIM Assist. Prof. Dr. Serkan ENGİN
		6	STATISTICAL AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED APPROACHES IN PERFORMANCE EVALUATION AND HYDRAULIC MODELING OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS	Araştırma Görevlisi Burak ÇIRAĞ Prof. Dr. Reşat ACAR
		7	Integrated Analysis of Geological, Geochemical, and Remote Sensing Data for Determining Uranium (U) Potential Areas	Zehra TAŞ Prof. Dr. Berna YAVUZ PEHLİVANLI
		8	MAPPING OF GEOCHEMİCAL ANOMALIES AND MİNERAL POTENTİAL IN THE GIS ENVIROMENT	Graduate Student, Zehra TAŞ
		9	IDENTIFICATION OF DIFFERENT AE SIGNATURES IN CFRP-STRENGTHENED CONCRETE	İnşaat Mühendisi İmray Deniz ÇELİK VAROL Doç. Dr. Sena TAYFUR Prof. Dr. Ninel ALVER
		10	POZZOLANIC ACTIVITY OF BAYBURT STONE	Ömer BAYRAK Prof. Dr. Emin ERDEM
		11	USE OF BAYBURT GREEN SPOTTED WHITE TUFF AS A CEMENT ADDITIVE	Ömer BAYRAK Prof. Dr. Emin ERDEM

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Öğr. Üyesi, NAZLI ÖZTÜRK**	1	YENİ HEGZADECA-SÜBSTİTÜE KOBALT (II) FTALOSİYANİN; SENTEZ VE ÇÖZÜNÜRLÜK	Dr. Öğr. Üyesi, NAZLI ÖZTÜRK
		2	COMPARISON OF PHOTOCATALYTIC EFFICENY OF CeNiO 3 /N-CQDs AND NiTiO 3 /N-CQDs HETEROJUNCTIONS IN ANTIBIOTIC REMOVAL SYSTEM	Büşra EMİR Özlem TUNA Şeyda KARADİREK
		3	EXPLORING DUAL METAL–ORGANIC FRAMEWORK AS NEXT-GENERATION PHOTOCATALYST IN WASTEWATER REMEDIATION PROCESSES	Özlem TUNA Şeyda KARADİREK
		4	C1 b KÜBİK YAPILI SmPtBi YARI-HEUSLER BİLEŞİĞİNİN ELASTİK VE TİTREŞİMSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR İLK PRENSİP ÇALIŞMASI	Prof. Dr. Salih AKBUDAK Prof. Dr. Abdullah CANDAN
		5	BİRİNCİ PRENSİPLER HESAPLAMALARI YOLUYLA GdIr 2 LAVES FAZI BİLEŞİĞİNİN KAPSAMLI BİR ARAŞTIRMASI	Prof. Dr. Salih AKBUDAK Dr. Abdullah CANDAN
		6	CYCLIC SEED COATING FOR SUGAR BEET SEEDS	Researcher Hatice Bülbül Researcher Hatice Özsolak
		7		
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Doç. Dr. Pınar AKSU KILIÇLE Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖNEN ÇELEBİ**	1	THE EFFECT OF EXERCISE ON IL-6 AND IL-1BETA: A META-ANALYSIS	Hamit Hakan ALP Ökkeş DERELİ Salih ÖNER
		2	EFFECT OF VITAMIN D SUPPLEMENTATION ON MUSCLE RECOVERY AFTER EXERCISE: A META-ANALYSIS	Salih ÖNER Furkan KIZILTAŞ Beyza ERTAN
		3	PREDİYABETTE BAĞIRSAK KAYNAKLI İMMÜNOMETABOLİK DEĞİŞİMLER: MİKROBİYOTA–İMMÜN–ENDOKRİN EKSENİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Pınar Ellergezen
		4	PREDİYABETTE ADİPOİMMÜN DENGENİN BOZULMASI: ERKEN DÖNEMDE ORTAYA ÇIKAN YENİ BİR FENOTİPİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Pınar Ellergezen
		5	TÜRKİYE'DE YETİŞEN SİLENE L. (CARYOPHYLLACEAE) TAKSONLARININ ETNOBOTANİK KULLANIMLARI	Muhammed Burak TATLİ Prof. Dr. Mustafa KORKMAZ
		6	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN GELENEKSEL TIBBİ BİTKİ KULLANIM DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ	Prof. Dr. Mustafa KORKMAZ Aleyna ÖZDEMİR
		7	YÜKSEK RAKIMDA YETİŞEN AHUDUDUNUN FENOLİK ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI	Doç. Dr. Pınar AKSU KILIÇLE Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖNEN ÇELEBİ
			MİTOMİSİN-C KAYNAKLI GENETİK HASAR VE BİTKİSEL EKSTRAKTLARIN İN VİVO KORUYUCU POTANSİYELİ	Doç. Dr. Pınar AKSU KILIÇLE Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖNEN ÇELEBİ
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Prof. Dr. Şermin TAĞ KALAFATOĞLU**	1	İZLEYİCİ PERSPEKTİFİNDEN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK TEMALI REKLAMLAR	Dr. Öğr. Üyesi Sevgi N. KURUŞ
		2	NEW HOLLYWOOD CINEMA: ITS HISTORICAL CONTEXT AND FUNDAMENTAL PRINCIPLES	Prof. Dr. Şermin TAĞ KALAFATOĞLU
		3	THE NATIONAL FILM BOARD OF CANADA AND EXAMPLES OF ITS INTERACTIVE DOCUMENTARIES	Prof. Dr. Şermin TAĞ KALAFATOĞLU
		4	BÜTÜNLEŞİK PAZARLAMA İLETİŞİMİ ÇERÇEVESİNDE REKLAM VE HALKLA İLİŞKİLER UYGULAMALARININ TÜKETİCİ ETKİLEŞİMİ ÜZERİNDEKİ ROLÜ	Y.L. Öğrencisi, Nafile Gül TOPRAK
		5	PUBLIC RELATIONS PRACTICES ON ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY: A STUDY ON TURKISH BANK ADVERTISEMENTS	Dr. Öğr. Üyesi: Mevlüde Canan CAN
		6	CORPORATE MARKETING STRATEGIES IN THE DIGITAL TRANSFORMATION PROCESS	Prof. Dr. Zekiye Beril AKINCI VURAL Doktorant Yasin HAYAL

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr. Nilgün DOĞAN Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU**	1	TÜKETİCİLERİN MEYVE-SEBZE ALIŞVERİŞİNDE ÇEVRİMİÇİ KANALLARI KULLANIM DURUMU	Doç. Dr. Nilgün DOĞAN Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU
		2	TÜRKİYE'DE TARIM ÜRÜNLERİ DIŞ TİCARETİNE YÖNELİK BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Nilgün DOĞAN Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU
		3	FARKLI KİREÇ DOZLARININ 'VİKİNG' ARONYA ÇEŞİDİNİN VERİM VE POMOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ	Arş. Gör. Zeynep NAS Ziraat Mühendisi Cengiz BAYDAR Lisans Öğrencisi Melik KAVAK Prof. Dr. Lütfi PIRLAK
		4	INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING SEWAGE SLUDGE AS A PEAT SUPPLEMENTARY MATERIAL AND RECYCLED WASTEWATER AS A SOURCE OF IRRIGATION WATER IN SEEDLING PRODUCTION	Student, Nisa Nur ADIGUZELOGLU Student, Nurten YILDIZ Assoc. Prof. Caner YERLI
		5	ENDEMİK HUŞ GÖVDELİ KIZILAĞACIN (Alnus glutinosa subsp. betuloides) POPULASYON ANALİZİ	Rüveyda ARSLAN Doç. Dr. Seyran PALABAŞ-UZUN
		6	DETERMINATION OF AROMA COMPOUNDS OF CALAMINTHA NEPETA (L.) COLLECTED FROM DERİNDERE PLATEAU, TRABZON	Assoc. Prof. Dr. Emine YURTERİ Sümeyye Beyza BUÇAN
		7	REVEALING THE DEVELOPMENTAL CHANGES OF PHENOLIC COMPOUNDS IN TEA FLOWERS BY HPLC ANALYSIS	Assoc. Prof. Dr. Emine YURTERİ Salih Sedatcan SARIKAYA
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	İlter KİLERCİ	1	SUSTAINABLE VALORIZATION OF TEXTILE WASTE THROUGH HYBRID NATURAL–SYNTHETIC FIBER COMPOSITES: MECHANICAL AND DYNAMIC PERFORMANCE OPTIMIZATION	Mehmet BOZDAĞ Ramazan ERCAN Mehmet KARAHAN
		2	DEAD TIME ANALYSIS USING a NaI(Tl) DETECTOR in GAMMA SPECTROSCOPY: EFFECTS of MATERIAL and THICKNESS	Laman SEYFIYEVA Prof. Dr. Latife SAHIN Esra KAYA Pınar İSEL
		3	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN IMAGE PROCESSING-ASSISTED MEASURING MACHINE IN AUTOMOTIVE PARTS PRODUCTION BY USING COLD AND HOT FORGING TECHNIQUES: A SMART APPROACH FOR DIMENSIONAL QUALITY CONTROL IN-PRODUCTION CELL	İlter KİLERCİ
		4	NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN ELEKTRİKSEL, ELEKTRONİKSEL, SAVUNMA SANAYİ, ÇİMENTO VE İNŞAAT SEKTÖRLERİNDE KULLANIMI	Burak Samet ÖZGEN Arş. Gör. Cevher Kürşat MACİT Doç. Dr. Burak TANYERİ
		5	1.35 BAR İÇ BASINCA DAYANIKLI BİR ŞÖNT REAKTÖR TANKININ TASARIMI VE ANSYS TABANLI YAPISAL ANALİZİ	Çağrı AKSAKAL Murat KAVUK Alper Buğra TARAKÇI
		6	INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS DEPENDING ON POWER AND FREQUENCY AFTER FIBER LASER PROCESSİNG OF ASA SAMPLES PRODUCED BY FDM METHOD	Asst. Prof. Yusuf Burak BOZKURT Lecturer Ömer ERDOĞAN Research Assistant Dr. Burak ATİK Research Assistant Dr. Şükran Merve TÜZEMEN Research Assistant Dr. Yeşim SEÇER KAVASOĞLU Prof. Dr. Halim KOVACI Assoc. Prof. Yakup UZUN Prof. Dr. Ayhan ÇELİK
		7	INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PORE MORPHOLOGY AND MECHANICAL PROPERTIES IN PERLITE-FILLED RIGID FOAMS	Aysel Sıla TOPÇU Muhammet Barış EKİCİ Eren ERTİK Murat ZENGİN Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN
		8	STRESS DİSTRİBUTİON AND MECHANİCAL BEHAVİOR ANALYSİS OF BEDDİNG SPRİNGS MANUFACTURED FROM AISI 1060 CARBON STEEL	Aysel Sıla TOPÇU Muhammet Barış EKİCİ Mehmet YÜCE Murat ZENGİN Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN
		9	MİNİBAR YÜZEYİNDE YERLİ HAMLE PROJESİ: YÜZEY KAPLAMA TEKNOLOJİLERİNDE YERLİ ÜRETİM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMI	Sevim KARAAYAK
		10	YAPAY ZEKA DESTEKLİ OTONOM TARIM ROBOTUNUN GELİŞTİRİLMESİ	Sinan GÖKÇE, Esat UZSES, Halil Tardu YAKUT, Bülent İyihuylu, Ali ORAL,
		11	Liquid-Dependent Wettability Behavior of Lotus-Inspired Surfaces Fabricated by FDM	Kübra YILDIZ Arş. Gör. Dr. Yeşim SEÇER KAVASOĞLU Dr. Öğr. Üyesi. Yusuf Burak BOZKURT Prof. Dr. Halim KOVACI Prof. Dr. Ayhan ÇELİK

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Dr. Öğr. Üyesi Fuat FİDAN Doç. Dr. Beyza ONUR Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI**	1	THE IMPACT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS ON CULTURAL HERITAGE MANAGEMENT: THE CASE OF KAYSERI CASTLE	Asst. Prof. Dr. Leyla KADERLİ Architect Fatma KOÇ
		2	REUSE AND CONTEMPORARY ADDITIONS IN HISTORIC BUILDINGS: THE CASE OF THE TUMO CENTER FOR CREATIVE TECHNOLOGIES	Prof. Dr. Gonca BÜYÜKMIHÇI Architect Fatma KOÇ
		3	A STUDY ON THE KAYSERİ ERKİLET ARCHAEOLOGİCAL SİTE WİTHİN THE FRAMEWORK OF THE SUSTAİNABLE DEVELOPMENT GOALS	Dr. Öğr. Üyesi Leyla KADERLİ Yüksek Mimar Fatma GÜLER
		4	TARİHİ ÇEVRE ÖZELLİKLERİNİN YENİ YAPILAŞMAYA YANSIMALARININ SAFRANBOLU ÖRNEĞİNDE İRDELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Fuat FİDAN Doç. Dr. Beyza ONUR Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI
		5	TARİHİ KENTLERİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE UYUMU: SAFRANBOLU ÖRNEĞİNDE UYUM TEDBİRLERİ	Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI Doç. Dr. Beyza ONUR Dr. Öğr. Üyesi Fuat FİDAN
		6		
		7		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:30 –17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Elena Cojocaru,	1	FORMULATION AND EVALUATION OF NANOSTRUCTURED LIPOSOMAL CARRIERS FOR ENHANCED DOXORUBICIN DELIVERY IN BREAST CANCER THERAPY	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Dr. Fatima Hassan, Mohamed Khalil
		2	PHYTOCHEMICAL PROFILING AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF EGYPTIAN MEDICINAL PLANTS AGAINST MULTIDRUG-RESISTANT BACTERIA	Assoc. Prof. Dr. Nour El-Din Ahmed, Sara Mahmoud
		3	DEVELOPMENT OF ORAL FLOATING MATRIX TABLETS FOR SUSTAINED PROPRANOLOL HYDROCHLORIDE RELEASE IN HYPERTENSION MANAGEMENT	Dr. Khaled Ramadan, Youssef Ali, Prof. Dr. Heba Salem
		4	BIOSYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING EGYPTIAN DATE PALM EXTRACT FOR WOUND HEALING APPLICATIONS	Mina Girgis, Assoc. Prof. Dr. Randa Abdel-Latif
		5	PHARMACOKINETIC OPTIMIZATION OF ARTEMISININ DERIVATIVES FOR IMPROVED ANTIMALARIAL EFFICACY IN ENDEMIC REGIONS	Prof. Dr. Ion Perju, Dr. Maria Cebotari, Andrei Lupu
		6	FORMULATION OF MUCOADHESIVE BUCCAL FILMS FOR RAPID NICORANDIL DELIVERY IN ANGINAL ATTACKS	Assoc. Prof. Dr. Valentina Rusu, Stefan Popa
		7	DEVELOPMENT OF LIPID POLYMER HYBRID NANOPARTICLES FOR ORAL INSULIN DELIVERY	Dr. Elena Cojocaru, Nicolae Donici
		8	CURCUMIN-LOADED SOLID LIPID NANOPARTICLES FOR NEUROPROTECTIVE THERAPY IN ALZHEIMER'S DISEASE	Prof. Dr. Rajesh Kumar, Dr. Priya Sharma, Amit Patel
		9	PHARMACEUTICAL COCRYS TAL ENGINEERING FOR ENHANCING POORLY SOLUBLE ANTIFUNGAL AZOLES	Assoc. Prof. Dr. Sanjay Gupta, Neha Singh
		10	3D-PRINTED ORAL TABLETS WITH PROGRAMMABLE DRUG RELEASE PROFILES FOR PERSON ALIZED MEDICINE	Dr. Anjali Desai, Rohan Mehra, Prof. Dr. Vikram Reddy
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:30 –17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Anna Sokolova	1	HYDROGEN PRODUCTION OPTIMIZATION FROM KAZAKHSTAN NATURAL GAS USING PLASMA REFORMING TECHNOLOGY	Prof. Dr. Almaz Tolegenov, Yerzhan Kairatov, Aizhan Sarsenova
		2	GEOTHERMAL ENERGY EXTRACTION FROM ABANDONED OIL WELLS IN WESTERN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Bekbolatova, Nurlan Abildayev
		3	WIND POWER INTEGRATION CHALLENGES IN KAZAKHSTAN'S STEPPE REGIONS	Dr. Dana Zhumagaliyeva, Ruslan Tastanbekov, Aidana Kurmanova
		4	CARBON CAPTURE UTILIZATION AND STORAGE FROM KAZAKHSTAN'S GAS PROCESSING PLANTS	Assis. Prof. Dr. Erlan Sadykov, Zhanna Kenzhegulova
		5	SMALL MODULAR REACTORS FOR REMOTE SIBERIAN INDUSTRIAL APPLICATIONS	Prof. Dr. Ivan Petrov, Dr. Anna Sokolova, Mikhail Ivanov
		6	HYDROGEN BLENDING IN EXISTING RUSSIAN NATURAL GAS TRANSMISSION NETWORKS	Assoc. Prof. Dr. Sergei Kuznetsov, Elena Petrova
		7	ADVANCED NUCLEAR FUEL CYCLE TECHNOLOGIES FOR CLOSED FUEL MANAGEMENT	Dr. Dmitry Volkov, Natalia Smirnova, Prof. Dr. Vladimir Loginov
		8	BIOMASS-TO-POWER TECHNOLOGIES FOR RURAL ELECTRIFICATION IN NORTH MACEDONIA	Assoc. Prof. Dr. Nikola Ivanov, Marija Petrovska
		9	ENERGY EFFICIENCY RETROFITS IN NORTH MACEDONIA'S SOVIET-ERA INDUSTRIAL FACILITIES	Dr. Goran Trajkovski, Elena Kostovska, Assis. Prof. Dr. Biljana Risteska
		10	HYBRID RENEWABLE MICROGRIDS FOR REMOTE MOUNTAIN COMMUNITIES IN NORTH MACEDONIA	Stefan Popovski, Prof. Dr. Daniela Angelova
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:30 –17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Sultana Akter,	1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF GRAPHENE OXIDE NANOCOMPOSITES FOR WATER DESALINATION MEMBRANES	Prof. Dr. Dimitris Papadopoulos, Dr. Eleni Stavrou, Nikos Karagiannis
		2	SILVER NANOPARTICLES EMBEDDED POLYMERIC FILMS FOR ANTIMICROBIAL MEDICAL DEVICE COATINGS	Assoc. Prof. Dr. Maria Antoniou, Kostas Theodoropoulos
		3	CARBON NANOTUBE-REINFORCED EPOXY NANOCOMPOSITES FOR AEROSPACE STRUCTURAL APPLICATIONS	Dr. Georgios Laskaris, Sofia Dimitriadou, Prof. Dr. Panagiotis Tsakaras
		4	QUANTUM DOT-POLYMER HYBRIDS FOR FLEXIBLE OPTOELECTRONIC DEVICES	Assis. Prof. Dr. Anna Vlachou, Ioannis Papageorgiou
		5	ZINC OXIDE NANOROD ARRAYS FOR PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTING IN WEARABLE TEXTILES	Prof. Dr. Rahman Karim, Dr. Fatima Begum, Shahidul Islam
		6	GOLD NANOPARTICLES FOR MALARIA RAPID DIAGNOSTIC TEST SENSITIVITY ENHANCEMENT	Assoc. Prof. Dr. Sultana Akter, Md. Rafiqul Islam
		7	MANGANESE DIOXIDE NANOFLOWERS FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODES IN OFF-GRID SOLAR SYSTEMS	Dr. Nasir Uddin, Ayesha Siddiqua, Prof. Dr. Jamal Hossain
		8	BARIUM TITANATE NANOPARTICLES FOR PIEZOCATALYTIC WATER PURIFICATION	Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso, Dr. Rina Wijaya
		9	SILICA NANOPARTICLES FROM RICE HUSK ASH FOR DRUG DELIVERY SYSTEMS	Dr. Agus Pramono, Sari Dewi, Prof. Dr. Hendra Nurochim
		10	TITANIUM DIOXIDE NANOTUBES FOR PHOTOELECTROCHEMICAL HYDROGEN PRODUCTION	Assis. Prof. Dr. Lina Sari, Muhammad Faisal, Rudi Hermawan
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:30 –17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Aizhan Kassenova,	1	ENGINEERED MICROBIAL CONSORTIA FOR BIOREMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED SOILS IN KAZAKHSTANI STEPPE REGIONS	Prof. Dr. Aizhan Kassenova, Yerzhan Tolegenov, Dina Sarsenbayeva
		2	CRISPR-CAS9 EDITING OF WHEAT GENOMES FOR DROUGHT TOLERANCE IN CENTRAL ASIAN AGRICULTURE	Assoc. Prof. Dr. Ruslan Zhumatov, Aidana Kurmangaliyeva
		3	NANOCELLULOSE-BASED SCAFFOLDS FOR CARTILAGE TISSUE ENGINEERING FROM KAZAKH TRADITIONAL MEDICINAL PLANTS	Dr. Gulnara Abayeva, Nurlan Bekbolatov
		4	SYNTHETIC BIOLOGY PLATFORMS FOR STEVIA GLYCOSIDE PRODUCTION USING KAZAKH HALOTOLERANT YEAST	Assis. Prof. Dr. Erlan Nurgaliyev, Zhanna Kenzhegulova
		5	BACTERIOPHAGE COCKTAILS FOR ANTIBIOTIC-RESISTANT INFECTIONS IN RUSSIAN HOSPITAL SETTINGS	Prof. Dr. Ivan Petrov, Dr. Maria Sokolova, Alexei Volkov
		6	GENE THERAPY VECTORS FOR SPINAL MUSCULAR ATROPHY USING RUSSIAN AAV ISOLATES	Assoc. Prof. Dr. Elena Kuznetsova, Dmitry Ivanov
		7	MICROALGAE BIOFUEL PRODUCTION FROM SIBERIAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS	Dr. Sergei Morozov, Natalia Petrova, Vladimir Smirnov
		8	FERMENTATIVE PRODUCTION OF RECOMBNANT HUMAN INSULIN USING MACEDONIAN YEAST STRAINS	Assoc. Prof. Dr. Nikola Popovski, Elena Ivanovska
		9	CRISPR-BASED VIRUS RESISTANCE IN BALKAN GRAPE CULTIVARS FOR SUSTAINABLE VITICULTURE	Dr. Marija Petrovska, Goran Trajkovski
		10	LIGNOCELLULOSIC BIOREFINERY FOR PHARMACEUTICAL PRECURSORS FROM BALKAN FOREST WASTE	Prof. Dr. Biljana Angelova, Saso Kostovski
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:30 –17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Samuel Kiptoo,	1	LOW-COST SOLAR-POWERED IRRIGATION SYSTEMS FOR SMALLHOLDER FARMERS IN ARID KENYAN REGIONS	Prof. Dr. James Mwangi, Esther Njoroge
		2	IOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES FOR RURAL ELECTRIFICATION IN WESTERN KENYA	Assoc. Prof. Dr. Peter Ochieng, Mary Atieno, David Kiprop
		3	DRONE-BASED PRECISION PESTICIDE APPLICATION FOR MAIZE CROPS IN KENYAN HIGHLANDS	Dr. Samuel Kiptoo, Grace Wanjiku
		4	WIND HYBRID MINIGRID SOLUTIONS FOR OFF-GRID COASTAL COMMUNITIES IN KENYA	Fatima Hassan, Prof. Dr. Ali Mohammed
		5	IOT-ENABLED SMART WATER METERS FOR URBAN LEAK DETECTION IN NAIROBI	Assis. Prof. Dr. Rachel Mwangi
		6	ADVANCED NUCLEAR REACTOR SAFETY SYSTEMS FOR SMALL MODULAR DESIGNS IN RUSSIA	Prof. Dr. Ivan Petrov, Dr. Anna Kuznetsova
		7	CRYOGENIC HYDROGEN STORAGE SYSTEMS FOR ARCTIC LNG TRANSPORT	Assoc. Prof. Dr. Sergei Volkov, Mikhail Ivanov
		8	QUANTUM DOT LASERS FOR HIGH-SPEED DATA CENTERS IN MOSCOW	Dr. Elena Smirnova, Prof. Dr. Dmitry Fedorov
		9	CARBON NANOTUBE FIELD EFFECT TRANSISTORS FOR 2NM TECHNOLOGY NODE	Takeshi Yamamoto, Dr. Aiko Nakamura
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:30 –17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Prof. Dr. Hassan Rezaei	1	GaN POWER DEVICES FOR ELECTRIC VEHICLE FAST CHARGING INFRASTRUCTURE	Assoc. Prof. Dr. Hiroshi Tanaka, Yumi Sato
		2	FLEXIBLE ORGANIC PHOTOVOLTAICS FOR WEARABLE ENERGY HARVESTING	Prof. Dr. Kenji Suzuki, Rina Kobayashi
		3	5G MILLIMETER WAVE BEAMFORMING ARRAYS FOR BASE STATION DEPLOYMENT	Dr. Reza Mohammadi, Sara Ahmadi
		4	AI-OPTIMIZED MICROGRID CONTROL FOR REMOTE ISLANDS	Assoc. Prof. Dr. Ali Karimi, Fatima Hosseini
		5	QUANTUM KEY DISTRIBUTION NETWORKS FOR SECURE COMMUNICATIONS	Prof. Dr. Hassan Rezaei
		6	HYBRID SOLAR THERMAL DESALINATION FOR COASTAL COMMUNITIES	Dr. Ahmed Khan, Sobia Malik, Bilal Ahmed
		7	6G TERAHERTZ COMMUNICATIONS FOR SMART CITIES	Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra, Imran Siddiqui
		8	WASTE-TO-ENERGY PLANTS FOR URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT	Prof. Dr. Nadeem Raza, Ayesha Khan
		9	OFFSHORE WIND FARM DEVELOPMENT FOR COASTAL ENERGY SECURITY	Dr. Omar Farooq, Sana Malik
		10	SMART TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS FOR LAHORE METROPOLIS	Reza Berisha, Prof. Dr. Luan Kuci
		11	GEOTHERMAL ENERGY EXPLOITATION FOR INDUSTRIAL PROCESS HEAT	Assoc. Prof. Dr. Dorina Marku, Erion Hoxha

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Aralık / Dec 26, 2025 / 15:30 –17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Anila Shehu	1	AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES FOR MARINE RESOURCE MAPPING	Dr. Anila Shehu
		2	HYDROGEN FUEL CELL BUSES FOR PUBLIC TRANSPORTATION	Klodian Deda, Prof. Dr. Valbona Kolici, Mira Bushati
		3	PREDICTIVE MAINTENANCE FRAMEWORKS FOR RICE MILLING MACHINERY USING IOT SENSOR NETWORKS	Dr. Rithy Seng, Sophea Ly, Chhay Nak
		4	DESIGN OF LOW-COST CNC ROUTERS FOR RURAL WOODWORKING COOPERATIVES USING LOCALLY SOURCED COMPONENTS	Assoc. Prof. Dr. Sothy Khim, Meng Heng
		5	THERMOELECTRIC WASTE HEAT RECOVERY SYSTEMS FOR HEAVY-DUTY TRUCK ENGINES IN DEVELOPING MARKETS	Prof. Dr. Sokha Chan, Dr. Vanna Sok
		6	MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF OFFSHORE WIND FARM LAYOUTS CONSIDERING MAINTENANCE ACCESSIBILITY	Dr. Antonio Fernández, Sofia Navarro, Raúl Pérez
		7	ADAPTIVE ROBOTIC ASSEMBLY SYSTEMS FOR AUTOMOTIVE CUSTOMIZATION IN HIGH-VARIETY PRODUCTION	Assoc. Prof. Dr. Miguel Ángel Rodríguez, Elena García
		8	ENERGY-EFFICIENT COGENERATION SYSTEM DESIGN FOR INDUSTRIAL DISTRICT HEATING IN MEDITERRANEAN CLIMATES	Prof. Dr. Javier Morales, Dr. Carmen López
		9	LEAN MANUFACTURING IMPLEMENTATION FRAMEWORK FOR SMALL-SCALE MINING EQUIPMENT PRODUCTION IN KYRGYZSTAN	Dr. Mirlan Bektemirov, Aidana Kurmanalieva, Nurlan Asanov
		10	VIBRATION ANALYSIS AND DYNAMIC STABILITY IMPROVEMENT IN HYDRAULIC TURBINE SYSTEMS FOR MOUNTAIN HYDROPOWER PLANTS	Assoc. Prof. Dr. Bakytbek Osmonov, Gulnara Toktogonova
		11	OPTIMIZATION OF SUPPLY CHAIN LOGISTICS FOR CENTRAL ASIAN TEXTILE EXPORTS USING HYBRID METAHEURISTIC ALGORITHMS	Prof. Dr. Aida Sadykova, Ermek Nurtaziev

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR

YÜZYÜZE

27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Öğretim Üyesi Özlem GÜLERYÜZ	1	Assessing the Influence of ICT and Financial Development on Economic Growth in Arab Countries: Evidence from a Feasible Generalized Least Squares Approach	Ponle Henry KAREEM Ashraf M.S. ABUSIDA
		2	Exploring the Moderating Role of Organizational Readiness and Regulatory Compliance in AI-Driven Forensic Accounting: Evidence from Jordan.	Wagdi M S Khalifa
		3	Identifying Critical Success Factors for the Implementation of AI in the Tourism Industry	Seyed Mohammadbagher Jafari Sarehsadat Rahmani
		4	VALIDATION AND PRIORITIZATION OF DIMENSIONS OF THE MODEL FOR APPLYING GAMIFICATION CONCEPTS IN ELEMENTARY EDUCATION	Fatemeh Heidari Seyed Mohammadbagher Jafari Seyfollah Fazlollahi Ghomshi
		5	THE PSYCHOLOGICAL ORIGINS OF THE STATE	Dr. Öğretim Üyesi Yağız AKSAKALOĞLU
		6	EXPLORING THE IMPACT OF AUGMENTED REALITY APPLICATIONS ON CUSTOMER EXPERIENCE IN THE FASHION INDUSTRY THROUGH TAM	Melis Gizem AKKAYA Prof. Dr. Sevtap ÜNAL
		7	RPA SİSTEMLERİ KULLANIMINDA ÖRGÜTLERİN DEĞİŞEBİLME YETENEĞİ ÜZERİNE NİCEL BİR ARAŞTIRMA	Dr. Öğretim Üyesi Özlem GÜLERYÜZ
		8	DISADVANTAGED GROUPS AND ACCESSIBILITY ON CAMPUSES: SULEYMAN DEMIREL UNIVERSITY EAST-WEST CAMPUS EXAMPLE	Research Assistant Dr. Sema ÇETİNKAYA
		9	ÜSTÜN YETENEKLİ ÖĞRENCİLERİN KÜLTÜREL MİRASA DUYARLILIKLARI İÇİN BİR UYGULAMA	Eren Efe EFE Dora Ege SU Bilge Atış
		10	GENÇ KADINLARIN İŞGÜCÜNE KATILIMINDA SOSYOEKONOMİK VE KÜLTÜREL DİNAMİKLER: SAKARYA ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ	Dr. Öğr. Üye. Sayın SAN Melek YAZICI Arda GÖKALP
		11	THE BÜYÜKÇEKMECE URBAN CHARTER FROM THE PERSPECTIVE OF URBAN RIGHTS	Dr. Özlem TEMİZEL
		12	AN EXAMINATION OF THE ATTITUDES AND SATISFACTION LEVELS OF CONSUMERS WHO SHOPPED ON THE TEMU ELECTRONIC COMMERCE WEBSITE	Yüksek Lisans Öğrencisi Dilara KEÇECİ Dr. Öğr. Üyesi İlknur SARAL DİNLEYİCİ AZİZ YILMAZ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR

YÜZYÜZE

27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Hakan AYDIN**	1	LIBATION SCENES ON THE SEALS FROM ASSYRIAN TRADE COLONIES ERA	Assistant Professor Ebru ORAL
		2	NATURE'S ENERGIES ARE WITH US: YOUNG LEADERS ENVIRONMENTAL COMMUNICATION AND MEDIA NETWORK	Prof. Dr. Hakan AYDIN
		3	INVESTIGATING INDIVIDUALS' PERCEPTIONS OF NEW TECHNOLOGIES USING AN ONLINE NETWORK ANALYSIS APPROACH	PhD Candidate Ayşe Nur BÜYÜKYAVUZ DENİZ
		4	ERGENLERDE SİBER ZORBALIĞIN PSİKOSOSYAL ETKİLERİ, DİNAMİKLERİ VE BAŞA ÇIKMA STRATEJİLERİ	Rabia Nur KOYUNCU SÜR
		5	KRONİK YORGUNLUKLA YAŞAMAK: SOSYAL HİZMET BAKIŞ AÇISIYLA GÜNLÜK YAŞAM MÜCADELELERİ	Rabia Nur KOYUNCU SÜR Doç. Dr. Fatih ALTUN
		6	ATHEİSM POLİCİES DURİNG THE SOVİET PERİOD İN CENTRAL ASİA: THE CASE OF KYRGYZSTAN	Dr. Öğrencisi Yüsra İSENÇ
		7	Savaş Sonrası Britanya'da Kadın Emeği ve Tanınma: "The Landswomen" (1918-1920) Üzerine Söylem Analizi	Yüksek Lisans Öğrencisi Taner Uzunpınarlı Dr. Öğr. Üyesi Onur Yamaner
		8	İSG' DE ÖNLEME YATIRIMLARININ ÖNEMİ VE İŞ KAZALARINA ETKİSİ	Dr. Cihandar HASANHANOĞLU
		9	İŞ DOYUMUNUN İŞ VERİMLİLİĞİ VE İŞ KAZALARI ÜZERİNE ETKİSİ	Dr. Cihandar HASANHANOĞLU
		10	TEMPORAL BRIDGE SYMPTOMS BETWEEN DEPRESSION AND ANXIETY WORRY SYMPTOMS IN ADOLESCENCE: DIFFERENCES BETWEEN HIGH-RISK AND COMMUNITY SAMPLES	Dr. Öğr. Üyesi Deniz Konaç Professor Edward D. Barker

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR

YÜZYÜZE

27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Prof.Dr. Aysel Güven**	1	IS WOMEN'S HAPPINESS AND LIFE SATISFACTION A DETERMINANT OF COSMETIC SURGERY ACCEPTANCE? LATENT PROFILE ANALYSIS	Dr. Öğr. Üyesi Yağmur SÜRMELİ Dr. Öğr. Üyesi Esma GÖKÇE
		2	The Main Factor Determining Professional Attitude in Nursing: A Study on First-Year Students	Arş. Gör., Büşra Yürük, Dr. Öğr. Üyesi, Yağmur Sürmeli,
		3	BÖBREK NAKLİ ALICILARINDA KARDİYOVASKÜLER RİSK FAKTÖRLERİ	Araş. Gör. Dr. Hatice Nihan BOZKURT
		4	VISUAL AND QUANTITATIVE INVESTIGATION OF ATMOSPHERIC MICROPLASTICS IN ISTANBUL EUROPEAN SIDE NATURE PARKS THROUGH Xanthoria parietina LICHEN MONITORING	AYŞE BETÜL KONAR Prof. Dr. Gülşah ÇOBANOĞLU
		5	Nanofibriler Protein Eldesi için Kabak Çekirdeği Bazlı Başlangıç Materyali Geliştirmesi	Bihter AYDIN Prof. Dr. Seher KUMCUOĞLU
		6	FROM AMPELOGRAPHY TO DİGİTAL AMPELOGRAPHY: CONVOLUTİONAL NEURAL NETWORK APPROACHES İN PRECİSİON VİTİCULTURE	Adnan DOĞAN Deniz Uğur GÜZEL
		7	DIGITAL TRANSFORMATION IN VITICULTURE: INTEGRATED USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, REMOTE SENSING, IOT, AND AUTONOMOUS SYSTEMS	Adnan DOĞAN Deniz Uğur GÜZEL
		8	ANTIOXIDATIVE INGREDIENTS AND BIOCHEMICAL METABOLISM OF TEA AND GRAPES	Prof.Dr. Aysel Güven

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR

YÜZYÜZE

27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2		1	AMBİYANSIN İZİNDE RICOEUR'CÜ BİR HERMENEUTİK İNCELEME: TRABZON KADINLAR PAZARI'NIN ANLATI KİMLİĞİ	Prof. Dr. Serap DURMUŞ ÖZTÜRK Arş. Gör. Asude BALİ Yüksek Mimar M. Enes ÖKSÜZ
		2	CALIBRATION OF UNDRAINED PARAMETERS WITH PLAXIS SOILTEST MODULE BASED ON LABORATORY TRIAXIAL TESTING OF A FINE-GRAINED SOIL	Civil Eng., Jhandra Mishelle REDONDO PİNTO Prof. Dr., MSc., Civil Eng., Sedat SERT Research Assistant, MSc., Civil Eng., Eylem ARSLAN
		3	INVESTIGATION OF THE APPLICABILITY OF FILTER PRESS MUD WASTE FROM THE SUGAR INDUSTRY IN SOIL IMPROVEMENT	Civil Eng., Jhandra Mishelle REDONDO PİNTO Prof. Dr., MSc., Civil Eng., Sedat SERT
		4	KOMPRESÖR BİYEL KOLU UYGULAMASI İÇİN KARBONİTRASYONLU AISI 1018 VE DIN 1705 (Rg 5) BRONZ KAPLAMALI BURÇLARIN TRİBOLOJİK PERFORMANSININ BELİRLENMESİ	Metin KOÇAK Onur Emre BAYRAKCI Arş. Gör. Mehmet Esat AYDIN Prof. Dr. Mehmet BAĞCI
		5	HAVA YÖNLENDİRİCİ TASARIMININ PERFORMANSA ETKİSİNİN NÜMERİK VE DENEYSEL YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI	Sistem Tasarım Mühendisi, Büşra YILDIRIM Kıdemli Mekanik Tasarım Uzmanı, Yaşar Seccat KESİCİ
		6	COMPARISON OF BROACHING AND CNC TURNING PROCESSES IN THE PRODUCTION OF AN INVOLUTE PROFILED CONNECTION ADAPTER IN TERMS OF SURFACE QUALITY, CYCLE TIME, AND COST	M.Sc. Student in Mechanical Engineering Ömer ÖZKAN M.Sc. Mechanical Engineer Mehmet GÜN Prof. Dr. Mehmet BAĞCI

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. İlhan POLAT**	1	TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİNE GÖRE HAZIRLANAN 5.SINIF MATEMATİK DERS KİTABINDA BULUNAN KAREKOD DESTEKLİ İÇERİKLERİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Şevval ÖZDEMİR ÖZBEK Dr. Öğr. Üyesi Hilal YILDIZ
		2	TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİNE GÖRE HAZIRLANAN 5.SINIF MATEMATİK DERS KİTABINDAKİ DİNAMİK MATEMATİK YAZILIMI DESTEKLİ İÇERİKLERİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Samedhan AKÇAY Dr. Öğr. Üyesi Hilal YILDIZ
		3	AN EVALUATION OF THE IB-PYP “HOW WE EXPRESS OURSELVES” THEME AND STEAM INTEGRATION İN MATHEMATICS INSTRUCTION	Müberra MERCAN Prof. Dr. Bülent ALCI
		4	ÜSTBİLİŞİ DESTEKLEYEN MATEMATİK ÖĞRENME ORTAMLARININ ÖĞRENCİLERİN ELEŞTİREL DÜŞÜNMELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Semih UMAY Prof. Dr. Ayten Pınar BAL
		5	İLKOKUL 3. SINIF ÖĞRENCİLERİNİN MATEMATİK KAYGISI VE PROBLEM ÇÖZME BECERİLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİDE CİNSİYETİN DÜZENLEYİCİ ROLÜ	Dr. İlhan POLAT
		6	MATEMATİK KAYGISINI AŞMAK: İLKOKULDA MATEMATİK PROBLEMİ ÇÖZME BAŞARISI İÇİN BİR REHBER	Dr. İlhan POLAT
		7	GERÇEKÇİ MATEMATİK EĞİTİMİ TEMELLİ ETKİNLİKLERİN 4.SINIF ÖĞRENCİLERİNİN MATEMATİK BAŞARISI VE MATEMATİK OKURYAZARLIK BECERİLERİNE ETKİSİ	Zeynep Yıldız Şeyda Nur AY
		8	İLKÖĞRETİM MATEMATİK ÖĞRETMENLİĞİ ÖĞRENCİLERİNİN ALTGRUP KAVRAMINI ANLAMLANDIRMA SÜRECİNDE YAŞADIKLARI ZORLUKLAR	Kübra KIZILKAPLAN Kübra ÖZCAN Enise AKDAŞ Elif UÇAR Cihan TAŞ Doç. Dr. Mustafa AKINCI

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Doç. Dr. Halime Göktaş Kulualp**	1	BRAINSTORMING OR BRAIN SYMPHONY?	Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR Elif SEYİTOĞU
		2	WILLINGNESS OF EMPLOYEES TO PARTICIPATE IN MANAGEMENT	Rabiya Deniz KOÇ Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR
		3	THE PSYCHOLOGICAL CONSEQUENCES OF ALGORITHMIC MANAGEMENT: ALIENATİON, STRESS, AND LOSS OF AUTONOMY AMONG EMPLOYEES	Elif Buse KORKUSUZ Ceylin DOĞAN Prof. Dr. Oya İnci BOLAT
		4	KİŞİSEL SATIŞ TEMSİLCİLERİNİN BAŞARISIZLIK DUYGUSUNU YÖNETMELERİNDE MARKA İMAJI VE MARKAYA GÜVENİN ROLÜ	Prof. Dr. Yusuf BİLGİN Esra ARİKAN Dr. Öğr. Üyesi Bilal ÇELİK
		5	BANKACILIK HİZMETLERİNDE MARKA İMAJI VE MARKA GÜVENİNİN KİŞİSEL SATIŞ TEMSİLCİLERİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ	Prof. Dr. Yusuf BİLGİN Esra ARİKAN Dr. Öğr. Üyesi Bilal ÇELİK
		6	THE CONCEPT OF QUIET QUITTING VIEWED THROUGH THE VOSVIEWER WINDOW	Doç. Dr. Halime Göktaş Kulualp
		7	INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN PSYCHOLOGICAL SAFETY AND ORGANIZATIONAL COMMITMENT FOR ORGANIZATIONAL DEVELOPMENT	Doç. Dr. Halime Göktaş Kulualp Eray Ekinci (Doktorant)
		8	THE EFFECT OF INDIVIDUAL DIFFERENCES ON EMPLOYEE JOB SATISFACTION AND INTENT TO LEAVE: A STUDY ON RAILWAY EMPLOYEES	Ayşenur ŞAHİN ARSLAN Doç. Dr. Şebnem ZORLUTUNA
			SOSYAL KURUMLARDAKİ HİZMET KALİTESİNİN TEKRAR TERCİH VE MEMNUNİYET ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ	Prof. Dr. Abdulvahap BAYDAŞ Doç. Dr. Murat BAYAT
			TKY'NİN MAVİ YAKALI ÇALIŞAN MOTİVASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA	Prof. Dr. Abdulvahap BAYDAŞ Doç. Dr. Murat BAYAT

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Öğr. Gör. Meryem Karapınar**	1	ON-FARM BIOSECURITY: DISEASE CONTROL, RISK MANAGEMENT, AND SUSTAINABILITY	Prof. Dr. Zehra BOZKURT Y.L. Öğrencisi, Taha ELÇARPAR
		2	WELFARE INDICATORS AND ASSESSMENT PROTOCOLS FOR LAYING HENS	Prof. Dr. Zehra BOZKURT Y.L. Öğrencisi, Mehmet Furkan DOĞAN
		3	TÜRKİYE'DEKİ ENDEMİK OMURGALI HAYVANLAR	Halis Mümin YILMAZ Hediye PEKTOPAL Yusuf Emre KILINÇASAN Zeynep Sude ÜSTÜNDAĞ Emine ÇİFTÇİ Yasin ÜNAL Mevlüt ZENBİLCİ
		4	TÜRKİYE'DE YAYILIŞ GÖSTEREN GEYİK TÜRLERİNİN (CERVIDAE) MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	Yasin Ünal Mevlüt ZENBİLCİ Halis Mümin YILMAZ
		5	Effects of Milk Thistle (Silymarin) and Ginkgo biloba Extracts Supplementation to Laying Hen Diets on Egg Quality Traits	Prof. Dr. Tarkan ŞAHİN Doç. Dr. Mükremin ÖLMEZ Prof. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU Res. Asst. Benian YILMAZ Asst. Prof. Roshan RİAZ
		6	Effects of Milk Thistle (Silymarin) and Ginkgo biloba Extracts on Survival and Egg Production in Laying Hens	Prof. Dr. Tarkan ŞAHİN Doç. Dr. Mükremin ÖLMEZ Prof. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU
		7	Hayvanlarda Alternatif bir Tedavi Yöntemi Olarak Fitoterapi ve Aromaterapi	Öğr. Gör. Meryem Karapınar
		8	ALTERATIONS IN SOME HEMATOLOGICAL PARAMETERS OF BROILERS COMBINED SUPPLEMENTED WITH CITRIC ACID AND HIGH FRUCTOSE CORN SYRUP	Ruhi Kabakçı Taha Altuğ Gökhan Şen

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Araş. Gör. Dr. Umut MUCAN Dr. Öğretim Üyesi Ezgi KURTULMUŞ**	1	SANTRİFÜJ SEPARATÖR GÜÇ TÜKETİMİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ	Erdem SAĞLAM
		2	İzmir İlinde SPI ve SPEI İndeksleri Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi	Araş. Gör. Dr. Umut MUCAN Dr. Öğretim Üyesi Ezgi KURTULMUŞ
		3	HYDROCARBON POTENTIAL OF PALEOZOIC SEQUENCES (SE TÜRKİYE)	Dr.Muhittin ŞENALP Prof.Dr. Sema TETİKER
		4	INNOVATIVE PRODUCT DESIGN FOR ENHANCED STAND-UP PERFORMANCE AND LOAD-BEARING CAPACITY IN RECYCLABLE POLYETHYLENE PACKAGING	Eda ARKON Alperen KONUK Ömer Lütfi YILDIRIM
		5	INCREASING POLYPROPYLENE CONTENT IN MONO PACKAGING STRUCTURES USING EXTRUSION LAMINATION TECHNOLOGY	Alperen KONUK Eda ARKON Ömer Lütfi YILDIRIM
		6	Circular Economy Compliance in Electric Motors: PLM-Based Calculation of Recyclability Rates	Erman Engüzel
		7	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADL ON REWET PERFORMANCE IN ADULT DIAPERS	Mustafa ÖZGEÇ Şeyma ÖZDEMİR
		8	GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ MALZEME İLE YEŞİL DÖNÜŞÜM ODAKLI PAKETLEME UYGULAMASI	Doğukan GÜNEŞ Merih GÜLEN Abdullah Emre DEMİR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Öğr. Üyesi Rıza ADIGÜZEL**	1	THE LIMITS OF THE CONCEPTS OF POLITICAL POWER AND THE STATE	Dr. Öğr. Üyesi Rıza ADIGÜZEL
		2	BİREYSEL BAŞVURU KARARLARINDA MASUMİYET KARİNESİ HUKUK VE İDARI YARGILAMA ÖRNEĞI	Dr. Hilmi Can TURAN
		3	KİRA BEDELİNİN ÖDENMEMESİ SEBEBİYLE TAŞINMAZIN İLAMSIZ İCRA YOLUYLA TAHLİYESİNDE ARABULUCULUK	Av. Ecem ÇIKRIKÇIOĞLU
		4	SÜRENİN BİTİMİ NEDENİYLE TAŞINMAZIN İLAMSIZ TAKİP YOLU İLE TAHLİYESİ	Av. Kerem ÖZER
		5	BİLGİSAYAR TABANLI BULUŞLARDA BEKLENMEDİK TEKNİK ETKİLERİN PATENTLENEBİLİRLİĞE KATKISI: TOPLU ULAŞIM SİSTEMLERİ ÜZERİNDEN UYGULAMALI BİR İNCELEME	Ayşegül Ece YILMAZ Dr. Melek ESEMEN ERTAŞ
		6	GIDA GÜVENLİĞİNİN CEZA HUKUKU BOYUTU: TCK m. 186 ÇERÇEVESİNDEN BİR ANALİZ	Öğr. Gör. Dr. Aslı AYDIN
		7	TÜRK HUKUKUNDA ÇOCUĞUN ÜSTÜN YARARI BAKIMINDAN ORTAK VELAYET	YL. Öğr. İrem YONCU
		8	ENTROPİ-ARAS BÜTÜNLEŞİK YÖNTEMİ İLE CEZA MAHKEMELERİNİN PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Ayşena AKINCI, Prof. Dr.Nuri ÖMÜRBEK,
		9	NORMATIVITY WITHOUT INVOCATION: AGAINST THE CLAIMABILITY CONDITION IN RIGHTS-BASED THEORIES	Dr. Mustafa Kenan USTAHALİLOĞLU
		10	THE COMPENSATION FALLACY - WHY THE INABILITY TO CLAIM OR SPEND DOES NOT JUSTIFY RIGHT	Dr. Mustafa Kenan USTAHALİLOĞLU
		11	TCK 220/6 VE 314/3 KAPSAMINDA CEZA HUKUKUNDA KANUNİLİK VE BELİRLİLİK İLKESİ: AYM'NİN E.2024/81, K.2024/189 SAYILI KARARI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Furkan DÜZEN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Öğr. Üyesi Firdevs KUZU**	1	SKIN CHANGES IN THE TERMINAL PHASE AND NURSING CARE	Arş. Gör., Leyla Senem ÜN Prof. Dr., Sevilay ERDEN Prof. Dr., Songül KARADAĞ
		2	PERIPHERAL ARTERIAL DISEASE AND ITS MANAGEMENT	Arş. Gör., Leyla Senem ÜN Prof. Dr., Sevilay ERDEN Prof. Dr., Songül KARADAĞ
		3	KRONİK HASTALIKLAR VE HEMŞİRELİK BAKIMI	Öğr. Gör. Dr. Sedat DOĞAN Dr. Öğr. Üyesi İsmail KELEŞ
		4	KRONİK OBSRÜKTİF AKCİĞER HASTALIĞI(KOAH) VE HEMŞİRELİK BAKIMI	Öğr.Gör.Yunus DEMİREL Dr. Öğr. Üyesi İsmail KELEŞ Öğr. Gör. Dr. Sedat DOĞAN
		5	The role of nurses in determining and managing delirium in children's intensive care units	Doç. Dr., Gülay MANAV Prof. Dr. Gonca KARAYAĞIZ MUSLU Zeynep KURT
		6	REVIEW OF POSTGRADUATE THESES ON SMARTPHONE ADDICTION AND SLEEP IN TURKEY: A SYSTEMATIC REVIEW	Necibe DAĞCAN ŞAHİN
		7	THE RELATIONSHIP BETWEEN BRAIN FOG AND NURSING	Seda YAĞMUR SÖNMEZ Dr. Öğr. Üyesi, Burcu Kübra SÜHA
		8	Patient Safety Risks in Emergency Nursing	Nilay ÇAKICI Fatma Zehra UÇAK
		9	Views And Challenges of Nurses Working Night Shifts Regarding The Monitoring of Vital Signs: A Triangulation Study	Fatma Zehra UÇAK Nilay ÇAKICI
		10	EVDE SAĞLIK HİZMETLERİNDE UZAKTAN SAĞLIK HİZMETLERİ VE UYGULAMALARI	Dr. Öğr. Üyesi Firdevs KUZU
		11	AŞI TEREDDÜTÜ, AŞI OKURYAZARLIĞI VE HALK SAĞLIĞI HEMŞİRELİĞİ	Dr. Öğr. Üyesi Firdevs KUZU
		12	SLEEP DISORDERS DURING MENOPAUSE: BIOSYCHOSOCIAL DETERMINANTS, PHYSIOLOGICAL MECHANISMS, AND CLINICAL MANAGEMENT	Assistant Professor Hatice BULUT
		13	HPV VACCINE ACCEPTABILITY AND DECISION-MAKING: AN UMBRELLA THEMATIC SYNTHESIS OF FINDINGS FROM QUALITATIVE SYSTEMATIC REVIEWS	Assistant Professor Hatice BULUT

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assoc. Prof. Dr. Noor Al-Ghamdi,	1	EPIDEMIOLOGICAL TRENDS AND PREVENTION STRATEGIES FOR TYPE 2 DIABETES MELLITUS IN SAUDI ARABIAN URBAN POPULATIONS	Prof. Dr. Ahmed Al-Saudi, Dr. Fatima Zahra, Khalid Rahman
		2	ADVANCES IN PRECISION MEDICINE FOR BREAST CANCER TREATMENT IN SAUDI WOMEN	Assoc. Prof. Dr. Noor Al-Ghamdi, Sarah Mansour
		3	MENTAL HEALTH CHALLENGES AND TELEPSYCHIATRY SOLUTIONS AMONG SAUDI UNIVERSITY STUDENTS	Dr. Omar Bin Laden, Aisha Khalid, Prof. Dr. Salem Al-Mansoori
		4	ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS AND INFECTION CONTROL MEASURES IN ALGERIAN HOSPITALS	Assoc. Prof. Dr. Karim Belkacem, Nadia Zerhouni
		5	NUTRITIONAL STATUS ASSESSMENT AND INTERVENTION PROGRAMS FOR ALGERIAN SCHOOL CHILDREN	Dr. Samir Lounis, Yacine Hadji, Amina Boualem
		6	CARDIOVASCULAR DISEASE PREVENTION THROUGH COMMUNITY HEALTH WORKER PROGRAMS IN RURAL ALGERIA	Prof. Dr. Mehdi Bouziane
		7	NEONATAL INTENSIVE CARE OUTCOMES AND QUALITY IMPROVEMENT INITIATIVES IN LEBANESE HOSPITALS	Dr. Elie Karam, Assoc. Prof. Dr. Lara Haddad, Maya Fares
		8	TRAUMA MANAGEMENT PROTOCOLS AND OUTCOMES IN BEIRUT'S EMERGENCY MEDICAL SYSTEMS	Prof. Dr. Georges Salameh, Dr. Rima Nassar
		9	PALLIATIVE CARE INTEGRATION IN LEBANESE ONCOLOGY SERVICES FOR TERMINAL PATIENTS	Assis. Prof. Dr. Nadine Atallah, Sami Hayek, Prof. Dr. Bassam Mattar
		10	MENTAL HEALTH SERVICES FOR REFUGEE POPULATIONS IN LEBANESE COMMUNITY SETTINGS	Dr. Carla Bou Daher
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Ahmed Belkacem,	1	INVESTIGATION OF NATURAL PRODUCT-DERIVED INHIBITORS TARGETING MULTIDRUG-RESISTANT BACTERIA IN SERBIAN CLINICAL ISOLATES	Prof. Dr. Milan Petrovic, Dr. Ana Jovanovic, Marko Stanisic
		2	PHARMACODYNAMIC EVALUATION OF NOVEL STATIN ANALOGUES FOR ENHANCED LIPID LOWERING IN METABOLIC SYNDROME MODELS	Assoc. Prof. Dr. Jelena Vukovic, Nikola Radovic
		3	NEUROPROTECTIVE EFFECTS OF SERBIAN MEDICINAL HERBS AGAINST GLUTAMATE-INDUCED EXCITOTOXICITY IN HIPPOCAMPAL NEURONS	Dr. Sofia Petrovic, Luka Markovic, Tamara Nesic
		4	INVESTIGATION OF TRADITIONAL ALGERIAN PLANTS AS ANTI-INFLAMMATORY AGENTS TARGETING NF-KAPPA B PATHWAY	Prof. Dr. Ahmed Belkacem, Fatima Zerhouni
		5	PHARMACOLOGICAL SCREENING OF ALGERIAN MARINE SPONGES FOR NOVEL ANTICANCER METABOLITES	Assoc. Prof. Dr. Samir Bouzid, Nadia Cherif
		6	EVALUATION OF ALGERIAN ESSENTIAL OILS AS INSECTICIDAL AGENTS AGAINST AGRICULTURAL PESTS	Dr. Karim Mansouri, Yassine Amrani, Leila Hadji
		7	FORMULATION DEVELOPMENT OF EGYPTIAN MEDICINAL PLANT-BASED WOUND HEALING OINTMENTS	Prof. Dr. Hassan El-Sayed, Mariam Ahmed, Omar Khalil
		8	PHARMACOKINETIC OPTIMIZATION OF EGYPTIAN DATE PALM POLYPHENOLS FOR EURODEGENERATIVE DISEASES	Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra, Ahmed Nassar
		9	ANTIVIRAL POTENTIAL OF EGYPTIAN NILOTIC PLANTS AGAINST EMERGING HEPATITIS C GENOTYPES	Dr. Nour El-Din, Sara Mahmoud, Karim Hassan
		10	DEVELOPMENT OF EGYPTIAN HERBAL FORMULATIONS FOR METABOLIC SYNDROME MANAGEMENT	Prof. Dr. Layla Ibrahim, Tarek Salem
		11	PHARMACOGENETIC PROFILING OF EGYPTIAN POPULATIONS FOR PERSONALIZED ANTICONVULSANT THERAPY	Assoc. Prof. Dr. Rania Fouad, Mohamed El-Gendy

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Laura Fischer	1	SEISMIC PERFORMANCE ENHANCEMENT OF REINFORCED CONCRETE FRAMES USING DISSIPATIVE STEEL BRACES IN SERBIAN SEISMIC ZONES	Prof. Dr. Milan Petrovic, Dr. Ana Jovanovic, Marko Stankovic
		2	SUSTAINABLE GEOPOLYMER CONCRETE DEVELOPMENT USING INDUSTRIAL WASTES FOR SERBIAN INFRASTRUCTURE PROJECTS	Assoc. Prof. Dr. Nikola Radovic, Jelena Markovic
		3	BRIDGE SCOUR COUNTERMEASURE EVALUATION UNDER EXTREME FLOOD EVENTS IN THE DANUBE RIVER BASIN	Dr. Vladimir Stevanovic, Sofia Petrovic, Igor Djordjevic
		4	DIGITAL TWIN IMPLEMENTATION FOR REAL-TIME STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF HIGH-RISE BUILDINGS	Prof. Dr. Klaus Müller, Anna Schmidt, Dr. Thomas Weber
		5	PREFABRICATED MODULAR CONSTRUCTION SYSTEMS FOR ACCELERATED URBAN HOUSING DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Laura Fischer, Markus Klein
		6	ADVANCED FIBER-REINFORCED POLYMER RETROFITTING OF HISTORIC MASONRY STRUCTURES	Dr. Hans Becker, Sophia Lehmann, Prof. Dr. Peter Hoffmann
		7	EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEMS INTEGRATION IN JAPANESE HIGH-SPEED RAIL INFRASTRUCTURE	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka, Dr. Yumi Sato, Kenji Nakamura
		8	CARBON-NEUTRAL CONCRETE DEVELOPMENT USING CO2 CAPTURE AND MINERALIZATION TECHNOLOGIES	Assoc. Prof. Dr. Akihiro Yamamoto, Mika Kobayashi
		9	AI-OPTIMIZED TUNNEL LINING DESIGN FOR DEEP UNDERGROUND CONSTRUCTION IN URBAN TOKYO	Dr. Takeshi Mori, Sachiko Ikeda, Prof. Dr. Ryoji Suzuki
		10	TSUNAMI-RESILIENT COASTAL BRIDGE PIER DESIGN INCORPORATING FLUID-VISCOPLASTIC DAMPERS	Kenzo Fujimoto, Dr. Noriko Hayashi
		11	3D-PRINTED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS FOR POST-DISASTER RAPID RECONSTRUCTION	Assoc. Prof. Dr. Tetsuya Ishida, Hana Yamamoto, Dr. Junpei Kuroda

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Klaus Becker	1	NURSE-LED PAIN MANAGEMENT PROTOCOLS FOR POSTOPERATIVE PATIENTS IN GEORGIAN HOSPITALS	Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Dr. Levan Beridze, Mariam Kapanadze
		2	TELEHEALTH NURSING INTERVENTIONS FOR CHRONIC DISEASE MANAGEMENT IN RURAL GEORGIA	Assoc. Prof. Dr. Tamar Gelashvili, Giorgi Lomidze
		3	FAMILY-CENTERED CARE MODELS FOR PEDIATRIC ONCOLOGY PATIENTS IN TBILISI	Dr. Lasha Chikvaidze, Assis. Prof. Dr. Salome Khvedelidze, Ana Tsintsadze
		4	MINDfulness-BASED STRESS REDUCTION PROGRAMS FOR GERMAN INTENSIVE CARE NURSES	Dr. Klaus Becker
		5	INTERPROFESSIONAL EDUCATION MODELS FOR GERMAN NURSING AND MEDICAL STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Sabine Weber, Thomas Klein, Lena Hoffmann
		6	DIGITAL HEALTH LITERACY INTERVENTIONS FOR GERMAN COMMUNITY NURSES	Dr. Maria Schmidt, Prof. Dr. Hans Wagner
		7	PREVENTIVE HOME CARE MODELS FOR FALL PREVENTION AMONG TAJIK ELDERLY POPULATIONS	Assoc. Prof. Dr. Dilnoza Rahimova, Farrukh Saidov
		8	MATERNAL AND NEWBORN HEALTH TRAINING PROGRAMS FOR RURAL TAJIK NURSES	Dr. Gulnora Karomatova, Nigora Yunusova, Assis. Prof. Dr. Azizullo Nazarov
		9	COMMUNITY HEALTH NURSING MODELS FOR TUBERCULOSIS CONTROL IN TAJIKISTAN	Prof. Dr. Rustam Juraev, Malika Boboeva
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Nadia Cherif	1	PREVALENCE AND MANAGEMENT OF DENTAL CARIES AMONG SCHOOL CHILDREN IN RURAL TANZANIA	Prof. Dr. Amina Hassan, Dr. Juma Kilonzo
		2	ORAL HEALTH IMPACTS OF HIV/AIDS ON ADULT PATIENTS IN DAR ES SALAAM COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Elias Mushi, Fatma Swai
		3	TRADITIONAL HERBAL REMEDIES EFFICACY FOR DENTAL PAIN MANAGEMENT IN TANZANIAN VILLAGES	Dr. Zuberi Nkya, Rehema Joseph
		4	DIGITAL DENTISTRY APPLICATIONS FOR PROSTHODONTIC REHABILITATION IN TUNISIAN ELDERLY	Prof. Dr. Karim Ben Ali, Dr. Nadia Cherif
		5	ORTHODONTIC TREATMENT OUTCOMES USING CLEAR ALIGNERS IN TUNISIAN ADOLESCENTS	Assoc. Prof. Dr. Sami Karray, Leila Hadji
		6	PERIODONTAL REGENERATIVE THERAPIES USING TUNISIAN DATE PALM DERIVED BIOMATERIALS	Dr. Hassen Trabelsi, Monia Ben Salem
		7	LASER-ASSISTED CARIES REMOVAL TECHNIQUES IN MARRAKECH PEDIATRIC DENTISTRY	Prof. Dr. Ahmed El Amrani, Dr. Fatima Zahra
		8	3D PRINTED SURGICAL GUIDES FOR DENTAL IMPLANT PLACEMENT IN MARRAKECH CLINICS	Assoc. Prof. Dr. Youssef Bennani, Sara El Khadim
		9	NANOHYDROXYAPATITE TOOTHPASTE EFFICACY FOR ENAMEL REMINERALIZATION IN MARRAKECH	Dr. Rachid Lahlou, Amina Serghini
		10	REGENERATIVE ENDODONTICS PROTOCOLS FOR IMMATURE PERMANENT TEETH IN MALAYSIAN CHILDREN	Prof. Dr. Noor Azlin, Dr. Kumarasan Retnam
		11	LASER-ASSISTED PERIODONTAL THERAPY OUTCOMES IN MALAYSIAN DIABETIC PATIENTS	Assoc. Prof. Dr. Siti Mariam, Ahmad Fariz

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Juma Mfinanga,	1	EFFECTS OF PERIODIZED RESISTANCE TRAINING ON MUSCLE HYPERTROPHY AND STRENGTH GAINS IN ELITE HUNGARIAN WEIGHTLIFTERS	Prof. Dr. László Kovács, Dr. Anna Szabó, Tamás Nagy
		2	NEUROMUSCULAR ADAPTATIONS TO HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING IN PROFESSIONAL HUNGARIAN SOCCER PLAYERS	Assoc. Prof. Dr. Gábor Tóth, Zoltán Kiss
		3	BIOKINEMATIC ANALYSIS OF OLYMPIC FENCING TECHNIQUES IN HUNGARIAN NATIONAL TEAM ATHLETES	Dr. Orsolya Farkas, Miklós Varga, Prof. Dr. István Szabó
		4	NUTRITIONAL STRATEGIES FOR ENDURANCE PERFORMANCE ENHANCEMENT AMONG TANZANIAN MARATHON RUNNERS	Assoc. Prof. Dr. Juma Mfinanga, Amina Hassan
		5	HEAT ACCLIMATION PROTOCOLS FOR TEAM SPORTS PERFORMANCE IN TANZANIA'S TROPICAL CLIMATE	Dr. Elias Ndugu, Fatuma Kikoti, Prof. Dr. Salum Ramadhani
		6	ANTHROPOMETRIC PROFILING AND TALENT IDENTIFICATION IN TANZANIAN YOUTH SOCCER ACADEMIES	Samwel Massawe, Dr. Rehema Kweka
		7	HYDRATION STRATEGIES AND COGNITIVE PERFORMANCE DURING PROLONGED CRICKET MATCHES IN INDIA	Assoc. Prof. Dr. Sanjay Patel, Neha Gupta
		8	WEARABLE TECHNOLOGY APPLICATIONS FOR LOAD MANAGEMENT IN INDIAN KABADDI PLAYERS	Dr. Vikram Reddy, Anjali Desai
		9	MENTAL TOUGHNESS TRAINING PROGRAMS FOR INDIAN SHOOTING ATHLETES PREPARING FOR OLYMPIC QUALIFICATION	Prof. Dr. Meera Joshi, Rohan Mehra
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assoc. Prof. Dr. Juma Kayange	1	IMPROVED DROUGHT-TOLERANT MAIZE VARIETIES THROUGH GENOMIC SELECTION IN HUNGARIAN FIELD TRIALS	Prof. Dr. István Nagy, Dr. Anna Kovács, László Tóth
		2	PRECISION VITICULTURE TECHNOLOGIES FOR ENHANCING GRAPE QUALITY IN TOKAJ WINE REGION	Assoc. Prof. Dr. Gábor Szöllősi, Eszter Balogh
		3	BIOLOGICAL CONTROL OF COLORADO POTATO BEETLE USING ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES IN HUNGARIAN POTATO CROPS	Dr. Zoltán Vajda, Márton Farkas, Prof. Dr. Judit Halász
		4	CLIMATE-RESILIENT CASSAVA VARIETIES FOR SMALLHOLDER FARMERS IN TANZANIA'S DRYLANDS	Assoc. Prof. Dr. Juma Kayange, Amina Hassan
		5	IMPROVED PIGEON PEA PRODUCTION SYSTEMS FOR INTERCROPPING IN TANZANIAN SMALLHOLDER FARMS	Dr. Elias Nchimbi, Fatuma Mushi, Lucas Swai
		6	VERTICAL SOIL PROFILING FOR PRECISION FERTILIZER APPLICATION IN TANZANIAN MAIZE SYSTEMS	Prof. Dr. Hamisi Kilama, Zawadi Joseph
		7	ORGANIC HORTICULTURE SYSTEMS FOR MARKET-ORIENTED VEGETABLE PRODUCTION IN INDIA	Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar, Priya Sharma, Amit Singh
		8	DRONE-BASED PHENOTYPING FOR SORGHUM BREEDING IN RAINFED SEMI-ARID REGIONS OF INDIA	Dr. Sanjay Patel, Neha Gupta
		9	MICRO-IRRIGATION SYSTEMS OPTIMIZATION FOR WATER-SCARCE FRUIT ORCHARDS IN RAJASTHAN	Prof. Dr. Meera Joshi, Vikram Reddy, Anjali Desai
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr. Odgerel Chuluunbaatar,	1	GENOMIC DIVERSITY AND ADAPTIVE EVOLUTION IN CAUCASUS POPULATIONS OF GEORGIA	Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Dr. Levan Beridze, Mariam Kapanadze
		2	CRISPR-CAS9 MEDIATED GENE EDITING FOR RARE CARDIOMYOPATHIES IN GEORGIAN COHORTS	Assoc. Prof. Dr. Irakli Gelashvili, Tamar Lomidze
		3	MITOCHONDRIAL GENOME VARIATION AND MATERNAL LINEAGE TRACING IN GEORGIAN ETHNIC GROUPS	Dr. Giorgi Khutsishvili, Lasha Tsintsadze, Prof. Dr. Maka Chikvaidze
		4	EPIGENETIC MODIFICATIONS ASSOCIATED WITH NOMADIC LIFESTYLES IN MONGOLIAN HERDER POPULATIONS	Assis. Prof. Dr. Batbold Enkhtur, Sarantuya Ganbold
		5	GENETIC DIVERSITY OF LIVESTOCK BREEDS AND CONSERVATION STRATEGIES IN MONGOLIAN STEPPES	Dr. Tumentsogt Ganzorig, Enkhjargal Munkhbayar
		6	MICROBIOME-GENOME INTERACTIONS IN MONGOLIAN HORSE DIGESTIVE TRACT ADAPTATIONS	Prof. Dr. Odgerel Chuluunbaatar, Bolormaa Tsogt
		7	TELOMERE LENGTH DYNAMICS AND CANCER SUSCEPTIBILITY IN IRANIAN HIGH-RISK FAMILIES	Assoc. Prof. Dr. Reza Mohammadi, Sara Langaroodi, Ali Rezaei
		8	PHARMACOGENOMICS OF ANTI-EPILEPTIC DRUG RESPONSE IN IRANIAN PEDIATRIC POPULATIONS	Dr. Mina Hosseini, Yasaman Sharifi

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Nilay ERDEM AYYILDIZ**	1	INVESTIGATION OF THE OPINIONS OF BRANCH TEACHERS TAKING COURSES IN UNIVERSITY PREPARATORY CLASSES ABOUT THE CLASSROOM ENVIRONMENT	Dr. Öğr. Üyesi Erkan GÖKTAŞ Yüksek Lisans Öğrencisi Betül HAFIZOĞLU
		2	THE IMPACT OF THE TUBITAK 2237-A PROJECT TRANINING ON PRE-SERVICE ENGLISH TEACHERS' PERCEPTIONS OF SELF-EFFICACY IN USING LITERARY GENRES AS TOOLS IN TEACHING ENGLISH	Assoc. Prof. Dr. Nilay ERDEM AYYILDIZ
		3	YARATICILIK VE AKADEMİK BAŞARI ÜZERİNE REACT STRATEJİSİNİN ETKİSİ: SES VE ÖZELLİKLERİ ÜNİTESİ	Öğrt. Kadir Ulaş TEKMANLI Doç. Dr. Seda OKUMUŞ
		4	DIGITAL QUALITY INDICATORS IN HIGHER EDUCATION: A COMPARATIVE WEB ANALYSIS OF TÜRKİYE'S LAKES REGION UNIVERSITIES	Assoc. Prof. Dr. Umut Can Öztürk
		5	ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNDE YAŞ DÜZEYİNE UYGUN OLMAYAN KİTAP TERCİHLERİ: ÇOCUĞA GÖRELİK İLKESİ BAĞLAMINDA KURAMSAL BİR İNCELEME	FADİME AĞDAŞ NURULLAH AYDIN
		6	EĞİTİMDE DİJİTALLEŞME SÜRECİNİN COVID-19 ÖNCESİ VE SONRASI EĞİLİMLERİ: TÜRKİYE'DEKİ ÇALIŞMALAR ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR ANALİZ	Dr. Fikriye SEZER Züleyha ÇEVİK Erhan BOSTAN Esra KARATAŞ Merve şenlik
		7	YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ MATERYAL GELİŞTİRME EĞİTİMİNİN BRANŞ ÖĞRETMENLERİNİN EĞİTİMDE YAPAY ZEKÂ KULLANIMINA YÖNELİK ALGILARINA ETKİSİ	Doç. Dr. Müzeyyen BULUT ÖZEK Dr. Öğr. Üyesi Büşra ÖZMEN YAĞIZ
		8	BİBLİYOTERAPİ YOLUYLA MÜKEMMELİYETÇİLİK FARKINDALIĞININ GELİŞTİRİLMESİ: "HİÇ HATA YAPMAYAN KIZ" KİTABI İLE ÖZEL YETENEKLİ ÖĞRENCİLERDE FENOMENOLOJİK BİR İNCELEME	Dr. Meltem TÜRKER Kaan Ahmet ÜNSALDİ Ekinsu AYDOĞDU
			K-12 DÜZEYİNDE OKUL YÖNETİCİLERİNİN YAPAY ZEKA ASİSTANLARINA YÖNELİK TUTUMLARININ İNCELENMESİ	Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Akın Bulut Esra DEMİRCİ Ahmet ORAKÇI Rabi YAKIŞIKLI Mustafa Hamza BİRSİN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğretim Üyesi Rabia BÖLÜKBAŞ**	1	EXAMINING PERCEPTIONS OF THE CONCEPT OF COMFORT FOOD THROUGH METAPHOR ANALYSIS	Fatih KATRAN Dr. Öğr. Üyesi Merve ONUR
		2	EDIBLE INSECTS FROM A SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS PERSPECTIVE	Dr. Öğretim Üyesi Rabia BÖLÜKBAŞ Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Prof. Dr. İrfan YAZICIOĞLU
		3	ANALYSIS OF ACADEMIC STUDIES IN THE FIELD OF GASTRONOMY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Dr. Öğretim Üyesi Rabia BÖLÜKBAŞ Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Prof. Dr. İrfan YAZICIOĞLU
		4	GLUTENSİZ DİYETLER, GIDA OKURYAZARLIĞI VE BESLENME TRENDLERİNDE GÜNCEL EĞİLİMLER VE ZORLUKLAR: TANIMLAYICI BİR LİTERATÜR TARAMASI	Doç. Dr. Hatice PEKMEZ Öğr. Gör. Eda Duygu ÖZER SÜT
		5	SIFIR ATIK YAKLAŞIMIYLA İLERİ DÖNÜŞÜM ÖRNEĞİ OLARAK SEBZE–MEYVE KABUĞU TOZLARINDAN BAHARAT YAPIMI ÜZERİNE DERLEME	YL. Öğrencisi Emre TEMÜR Dr. Öğr. Üyesi Selin İLSAY
		6	THE RELATIONSHIP BETWEEN GASTRONOMY AND CULINARY STUDENTS' EATING-OUT HABITS AND THE SLOW FOOD MOVEMENT	Yüksek Lisans Öğrencisi Gülşah ARSLANHAN Dr.Öğr. Üyesi Erol GEÇGİN
		7	A RESEARCH TO DETERMINE THE RELATIONSHIP BETWEEN PRICE PERCEPTION AND SATISFACTION İN LOCAL RESTAURANTS : THE EXAMPLE OF VAN PROVINCE	Ayşe Nur GÜVEN Dr. Öğr. Üyesi Pelin KOÇ Dr. Öğr. Üyesi Erol GEÇGİN
		8	MOLEKÜLER MUTFAK TEKNİKLERİ İLE GELENEKSEL HATAY YEMEKLERİNİN YENİDEN YORUMLANMASI	İrem ERYILMAZ Doç. Dr. İbrahim ÇEKİÇ
		9	EVALUATION OF FOOD WASTES AS FUNCTIONAL FOOD INGREDIENTS	Öğr. Gör. Zeynep Nur KARAKUŞ Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ Doç. Dr. Yasemin ÇELEBİ
		10	EVALUATION OF EMERGING TRENDS IN FUTURE GASTRONOMY FROM THE PERSPECTIVE OF FOOD SCIENCE, TECHNOLOGY, AND ENGINEERING	Öğr. Gör. Zeynep Nur KARAKUŞ Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ Doç. Dr. Yasemin ÇELEBİ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Öğr. Üyesi Sema ÜSTGÖRÜL**	1	EMZİRME SONLANDIRMA SÜRECİNİN DESTEKLENMESİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM: EBE-LİDERLİĞİNDE DİJİTAL DESTEKLİ EMZİRME SONLANDIRMA DANIŞMANLIĞI	Dr. Öğr. Üyesi Vasviye EROĞLU Dr. Öğr. Üyesi Demet ÇAKIR Öğr. Gör. Arslan SAY
		2	İNFERTİLİTE YÖNETİMİNDE YOGANIN ROLÜ: PSİKOLOJİK VE ÜREME SAĞLIĞINA YÖNELİK KANITLAR	Dr. Öğr. Üyesi Vasviye EROĞLU Öğr. Gör. Arslan SAY Dr. Öğr. Üyesi Demet ÇAKIR
		3	GENITAL HYGIENE BEHAVIORS DURING PREGNANCY	Ebe Meltem YAVUZ Doç. Dr. Ayça ŞOLT KIRCA Doç. Dr. Elif DAĞLI
		4	VACCINATIONS DURING PREGNANCY	Ebe Meltem YAVUZ Doç. Dr. Ayça ŞOLT KIRCA Doç. Dr. Elif DAĞLI
		5	THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PATIENT EDUCATION	Öğr. Gör. GÜLİSTAN UYMAZ ARAS
		6	ADVANCED TECHNOLOGIES IN POSTOPERATIVE CARE	Öğr. Gör. GÜLİSTAN UYMAZ ARAS
		7	EBELERİN CİNSEL SAĞLIK VE DANIŞMANLIK ROLÜ: HİZMET ALANLARI VE POTANSİYEL SORUMLULUKLAR	Dr. Öğr. Üyesi Sema ÜSTGÖRÜL
		8	EBE ADAYLARININ YAPAY ZEKA KAYGI DÜZEYLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Dr. Öğr. Üyesi Sema ÜSTGÖRÜL
			Perinatal Kayıp Sonrası Yas Sürecinde Yayın Trendlerinin ve Araştırma Odak Noktalarının Haritalandırılması: 45 Yıllık Bibliyometrik Analiz	Ebe Kübra ÇORU Esra Sabancı Baransel, Osman Tayyar Çelik
		10	GAMIFICATION IN HEALTH EDUCATION AND TREATMENT	Asst. Prof. Ayşegül UNUTKAN
		11	PSYCHOSOCIAL INTERVENTIONS TO SUPPORT POST-TRAUMATIC GROWTH IN WOMEN VICTIMS OF VIOLENCE	Asst. Prof. Ayşegül UNUTKAN Prof. Dr. Sultan GÜÇLÜ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Öğr. Gör., Necmettin BİLİK**	1	GHAZI MUSBEY MUSTAFA KEMAL ATATÜRK AS A BILKADIR LEADER	Lecturer, Murat GÖKMEN M.A. Graduate, Seda GÖKMEN
		2	WAR STRATEGY AND THE BENEFITS OF WAR IN THE NEW ASSYRIAN PERIOD IN MESOPOTAMIA	Dr. Yavuz ARSLAN
		3	THE TRANSITION FROM ROME TO NOVA ROMA: EMPEROR CONSTANTINE'S ESTABLISHMENT OF CONSTANTINOPLE AS THE CAPITAL OF THE EASTERN ROMAN EMPIRE	Buket YILMAZ Prof.Dr. Mustafa HİZMETLİ
		4	NİZAM AL-MULK AND THE NİZAMİYYA MADRASAS: SCHOLARLY AND INSTİTUTİONAL STRUGGLE AGAİNST SHİ'İTE AND BATİNİSM	Halit Ünlüer Prof. Dr. Mustafa Hizmetli
		5	THE SPATIAL EFFECT OF MUQARNAS IN THE ALHAMBRA PALACE: LIGHT, SHADOW, AND ACOUSTIC AESTHETICS	Özge Ünlüer Prof. Dr. Mustafa Hizmetli
		6	HAGİA SOPHIA: THE MONUMENT THAT ESTABLISHED CONSTANTINOPLE AS THE CENTER OF EASTERN CHRISTENDOM	İnci Tomris TEKERLEK Prof. Dr. Mustafa HİZMETLİ
		7	WHY IS JEWİSH HISTORY UNDER ROMAN RULE A HISTORY OF REVOLT?	Dr. Öğr. Gör., Necmettin BİLİK
		8	JEWISH IDENTITY, ARAMEANS AND THE MYTH OF "THE LOST TRİBES OF ISRAEL"	Dr. Öğr. Gör., Necmettin BİLİK

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Öğr. Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Nazmiye EKİNCİ Dr. Öğr. Üyesi Eray Ekin SEZGİN**	1	A CONTENT ANALYSIS OF GRADUATE THESES ON MEDICAL ACCOUNTING WRITTEN IN TURKIYE	Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYA Dr. Öğr. Üyesi Nazmiye EKİNCİ Dr. Öğr. Üyesi Eray Ekin SEZGİN
		2	CONTENT ANALYSIS OF GRADUATE THESES WRITTEN IN TURKIYE ON EFFECTIVE PROJECT MANAGEMENT PRACTICES IN HEALTHCARE INSTITUTIONS	Dr. Öğr. Üyesi Nazmiye EKİNCİ Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYA Dr. Öğr. Üyesi Figen ÖZŞAHİN
		3	BAĞIMSIZ DENETİM STANDARDI 701, KİLİT DENETİM KONULARININ BAĞIMSIZ DENETÇİ RAPORLARINDA BİLDİRİLMESİ	Dr.Öğr.Üyesi. Hayrettin UZUNOĞLU Yüksek Lisans Öğrencisi (Tezli) Fatih YILMAZ
		4	DEVLET MUHASEBESİNDE TAHAKKUK ESASLI MUHASEBEYE GEÇİŞ TÜRK DÜNYASI ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEME	Dr. Oğuz KUYUMCU Arş. Gör. Dr. Süleyman BAYRAKCIOĞLU
		5	YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENMESİNİN MUHASEBE VE FİNANS ALANINDA UYGULAMALARI	Yüksek Lisans Öğrencisi Tuğçe ÖZKAN Dr. Öğr. Üyesi Emre Hayri BARAZ
		6	E-DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE ELEKTRONİK VERGİ UYGULAMALARININ VERGİ DENETİMİNE ETKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi TUĞBA DİŞBUDAK Doç. Dr. MURAT KARAHAN
		7	FROM TRADITIONAL TO DIGITAL IN ACCOUNTING EDUCATION: AI- SUPPORTED ASSESSMENT AND EVALUATION	Dr. Öğr. Üyesi Elçin DALKILIÇ Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ÖZDEMİR
		8	THE ROLE OF TFRS 18 IN BUILDING TRANSPARENCY IN FINANCIAL STATEMENT PRESENTATION AND ITS CAPACITY TO REDUCE FRAUDULENT REPORTING	Doç. Dr. Tuba DERYA BASKAN Fatma Nur YARDIMCI
		9	TAŞINMAZ DEĞERLEME LİTERATÜRÜNÜN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	Tuğçe KARADAĞ ALMALI

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Cengiz KARACA**	1	Elucidating the Molecular Ecology of Euroleon judaeus and Euroleon nostras: Implications for the Evolutionary History of Mediterranean Phylogeography	Hakan Bozdoğan
		2	Genome Skimming in Chrysoperla (Neuroptera: Chrysopidae): A Comprehensive Review of Current Advances, Challenges, and Future Directions	Hakan Bozdoğan
		3	USE OF ZINC CHELATES IN REDUCING CADMIUM STRESS IN WHEAT	Zeynep AKÇA Assoc. Prof. Dr. Gülsüm Ebru ÖZER UYAR
		4	PLANT DISEASES CAUSED BY Rhizopus oryzae	Assoc. Prof. Dr. Gülsüm Ebru ÖZER UYAR Prof. Dr. Aysun CAVUSOGLU
		5	YENİ KONSERVELİK BEZELYE ÇEŞİTLERİNİN EGE VE MARMARA BÖLGESİNDEKİ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	Mert ARSLAN Prof. Dr. İbrahim DUMAN
		6	THE CONVERSION OF LIVESTOCK MANURE INTO ENERGY AND THE ENVIRONMENTAL BENEFITS: THE CASE OF MANİSA PROVINCE	Prof. Dr. Cengiz KARACA
		7	AGRICULTURAL RESIDUES AS A REGIONAL ENERGY RESOURCE: BIOMASS ENERGY POTENTIAL OF MANİSA PROVINCE	Prof. Dr. Cengiz KARACA
		8	FARKLI FESLEĞEN ÇEŞİTLERİNDE TUZ STRESİNİN ETKİLERİ	Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN Doç. Dr. Ebru DERELLİ TÜFEKÇİ Selahattin MUTLU
			KUZUKULAĞINDA (Rumex acetosella L.) FARKLI BİYOSTİMULANT UYGULAMALARININ TUZLULUĞA TOLERANS ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN Doç. Dr. Ebru DERELLİ TÜFEKÇİ Selahattin MUTLU

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Amina Korir,**	1	EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE IN KENYAN LIVESTOCK POPULATIONS	Prof. Dr. James Mwangi, Dr. Amina Korir,
		2	ASSESSMENT OF ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN MASTITIS CAUSING BACTERIA FROM DAIRY COWS	Assoc. Prof. Dr. Esther Njoroge, Kipchoge Chebet, Dr. Miriam Wanjiku , Samuel Otieno
		3	NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR IMPROVING POULTRY GROWTH PERFORMANCE IN ARID REGIONS	Dr. Patrick Omondi, Fatma Ali, Joseph Kiptoo
		4	IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON TICK-BORNE DISEASES IN EAST AFRICAN WILDLIFE	Assis. Prof. Dr. Leah Simiyu, Benson Mutua, Grace Wambui
		5	DEVELOPMENT OF VACCINES AGAINST AVIAN INFLUENZA IN PAKISTANI POULTRY FARMS	Prof. Dr. Khalid Mahmood, Ayesha Khan
		6	PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC EFFICACY IN SHEEP FLOCKS OF PUNJAB	Dr. Faisal Rehman, Sana Malik, Zainab Noor
		7	STRATEGIES FOR CONTROLLING AFRICAN SWINE FEVER IN BRAZILIAN PIG PRODUCTION	Assoc. Prof. Dr. Carlos Silva, Dr. Mariana Costa, João Pereira , Dr. Beatriz Lima
		8	BIOLOGICAL CONTROL OF NEEM-BASED REPELLENTS AGAINST CATTLE TICKS IN BRAZIL	Prof. Dr. Ana Oliveira, Rodrigo Santos,
		9	EFFECTS OF PROBIOTICS ON GUT MICROBIOTA IN NEWBORN CALVES	Eduardo Ramos, Assis. Prof. Dr. Sofia Mendes, Larissa Ferreira
		10	EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE IN KENYAN LIVESTOCK POPULATIONS	Prof. Dr. James Mwangi, Dr. Amina Korir, Samuel Otieno
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Nadia Ismail,**	1	IMPACT OF NURSE-LED PATIENT EDUCATION PROGRAMS ON DIABETES MANAGEMENT OUTCOMES IN EGYPTIAN RURAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Fatima Abdelrahman, Dr. Ahmed Hassan, Sara Mahmoud
		2	EFFECTIVENESS OF TELEHEALTH NURSING INTERVENTIONS FOR HYPERTENSIVE PATIENTS IN CAIRO	Assoc. Prof. Dr. Nadia Ismail, Mohamed Salem, Dr. Layla Karim
		3	POSTOPERATIVE PAIN MANAGEMENT STRATEGIES IMPLEMENTED BY NURSES IN EGYPTIAN SURGICAL WARDS	Dr. Omar Khalil, Aisha Rahman, Karim El-Sayed
		4	PREVENTIVE CARE TRAINING FOR NURSES TARGETING MATERNAL MORTALITY REDUCTION IN UPPER EGYPT	Assoc. Prof. Dr. Hala Mostafa, Dr. Youssef Nasser, Fatima Ali
		5	NURSE EDUCATION MODELS FOR EMERGENCY RESPONSE IN TB PATIENT CARE IN TBILISI HOSPITALS	Prof. Dr. Nino Gelashvili, Dr. Levan Tsiklauri
		6	MENTORSHIP PROGRAMS FOR NOVICE NURSES IN PEDIATRIC INTENSIVE CARE UNITS IN GEORGIA	Dr. Tamar Kapanadze, Irakli Beridze, Lali Chikhradze
		7	CHALLENGES IN NURSE TRAINING FOR INFECTIOUS DISEASE CONTROL IN YEMEN CONFLICT ZONES	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Mansoori, Dr. Faisal Saleh ,Khalid Rahman, Noor Alawi
		8	COMMUNITY HEALTH NURSING STRATEGIES FOR MALNUTRITION PREVENTION AMONG YEMENI CHILDREN	Dr. Sana Hussein,
		9	WOUND CARE PROTOCOLS DEVELOPED BY NURSES FOR CHRONIC ULCERS IN YEMENI REFUGEE CAMPS	Prof. Dr. Mohammed Qasim, Amina Tariq
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Fatima El-Sayed	1	GENETIC DIVERSITY ANALYSIS OF NILOTIC ENDANGERED FISH SPECIES UNDER CLIMATE CHANGE PRESSURES	Prof. Dr. Ahmed Hassan, Dr. Fatima El-Sayed, Omar Khalil
		2	MICROBIAL BIOREMEDIATION STRATEGIES FOR HEAVY METAL CONTAMINATION IN EGYPTIAN AGRICULTURAL SOILS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Mahmoud, Karim Abdelaziz, Layla Hassan
		3	PHYTOCHEMICAL PROFILING AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF MEDICINAL PLANTS FROM SINAI DESERT ECOSYSTEMS	Dr. Mohamed Salem, Sara Ahmed, Prof. Dr. Ibrahim Nour
		4	INVESTIGATING BACTERIAL COMMUNITIES IN THE GREAT PYRAMIDS' SUBTERRANEAN WATER SYSTEMS	Assis. Prof. Dr. Reem Gamal, Tariq El-Badry
		5	MOLECULAR CHARACTERIZATION OF OLIVE TREE PATHOGENS AFFECTING GEORGIAN ORCHARDS	Dr. Giorgi Tsiklauri, Nino Beridze, Lasha Kapanadze
		6	ECOLOGICAL IMPACTS OF INVASIVE SPECIES ON BLACK SEA COASTAL WETLAND BIODIVERSITY	Assoc. Prof. Dr. Mariam Gelashvili, Irakli Lomidze
		7	PHYLOGENETIC ANALYSIS OF ENDANGERED YEMENI MOUNTAIN GOAT POPULATIONS	Prof. Dr. Abdullah Al-Mansoori, Faisal Ahmed
		8	MICROALGAE DIVERSITY AND BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL IN RED SEA CORAL REEFS	Dr. Sana Al-Hadhrami, Khalid Saeed, Noor Ibrahim
		9	BIOACTIVE COMPOUNDS FROM YEMENI DESERT PLANTS FOR ANTIBIOTIC-RESISTANT INFECTIONS	Assis. Prof. Dr. Huda Al-Qadhi, Rami Nasser
		10	GENE EXPRESSION PATTERNS IN DATE PALM TREES UNDER DROUGHT STRESS CONDITIONS	Dr. Amal Saleh, Tariq Mahdi, Prof. Dr. Yusuf Al-Ghamdi
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Yuki Nakamura Dr. Yuki Nakamura**	1	ADVANCES IN ROBOTIC AUTOMATION FOR INDUSTRIAL MANUFACTURING	Dr. Yuki Nakamura
		2	OPTIMIZATION OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS USING MACHINE LEARNING	Assoc. Prof. Dr. Akiko Yamamoto, Dr. Koji Fujimoto
		3	SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN URBAN BANGLADESH	Dr. Md. Raihan Chowdhury, Assis. Prof. Dr. Farzana Akter
		4	APPLICATION OF IoT FOR SMART TRANSPORT SYSTEMS IN BANGLADESH	Farid Hasan, Dr. Nazmul Karim, Wasim Ahmed, Nahid Chowdhury
		5	DESIGN AND ANALYSIS OF WIND TURBINES FOR SUDANESE CLIMATE CONDITIONS	Prof. Dr. Ahmed Elshazly, Mustafa Saeed
		6	SMART WATER MANAGEMENT TECHNOLOGIES FOR ARID REGIONS	Dr. Salma Abdalla, Assoc. Prof. Dr. Mohamed Hassan, Dina Elsayed
		7	DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS THROUGH THERMAL INSULATION	Assoc. Prof. Dr. Nguyen Van An, Pham Thi Lan
		8	AUTOMATION AND CONTROL SYSTEMS FOR VIETNAMESE MANUFACTURING SECTOR	Dr. Tran Quang Minh, Le Thi Huong, Hoang Van Binh, Assis. Prof. Dr. Pham Duc Hoang
		9	APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CIVIL ENGINEERING DESIGN	Pham Tuan Anh, Hoang Thi Mai Linh, Dr. Nguyen Tuan Kiet
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Hua Chen,**	1	ADVANCES IN NANOMATERIALS FOR ENERGY STORAGE APPLICATIONS	Prof. Dr. Wei Zhang, Dr. Li Ming, Chen Yu
		2	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOCOMPATIBLE POLYMER COMPOSITES	Assoc. Prof. Dr. Hua Chen, Zhang Lei
		3	NANOSTRUCTURED CERAMICS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS: CHALLENGES AND PROSPECTS	Dr. Saeed Moghaddam, Assis. Prof. Dr. Leyla Hamidi, Reza Farrokhi
		4	MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF METAL ALLOYS UNDER CYCLIC LOADING CONDITIONS	Mehrdad Rouhani, Dr. Fatemeh Ghorbani
		5	MECHANICAL PROPERTIES ENHANCEMENT IN ALBANIAN ALUMINUM ALLOYS	Prof. Dr. Arben Kodra, Dr. Elena Hoxha, Ilir Meta
		6	CORROSION BEHAVIOR AND MITIGATION TECHNIQUES OF STEEL IN MARINE ENVIRONMENTS	Dr. Fatos Dervishi, Kujtim Leka
		7	DEVELOPMENT OF BIODEGRADABLE MATERIALS FOR MEDICAL IMPLANTS	Prof. Dr. Amira El-Sayed, Dr. Karim Hassan
		8	EFFECTS OF HEAT TREATMENT ON TITANIUM ALLOY MICROSTRUCTURE	Assoc. Prof. Dr. Maha Abdallah, Nourhan Adel, Ahmed Fathy

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Mona Samir,**	1	APPLICATIONS OF DEEP LEARNING IN MEDICAL IMAGE ANALYSIS	Prof. Dr. Wei Zhang, Li Na
		2	ETHICAL IMPLICATIONS OF AI IN SOCIETY: A CHINESE PERSPECTIVE	Dr. Minghui Chen, Assoc. Prof. Dr. Xiaoling Zhao, Feng Liu
		3	ENHANCING NATURAL LANGUAGE PROCESSING WITH TRANSFER LEARNING TECHNIQUES	Sahar Mohammadi, Dr. Navid Rahimi
		4	AI-DRIVEN PREDICTION MODELS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING	Dr. Hamed Shirazi, Assis. Prof. Dr. Mahsa Kiani, Neda Azizi
		5	MACHINE LEARNING APPROACHES TO CYBERSECURITY THREATS DETECTION	Arben Dervishi
		6	INNOVATIONS IN AI FOR AGRICULTURAL OPTIMIZATION	Prof. Dr. Elira Hoxha, Arjan Kola, Dr. Sokol Dobi
		7	DEVELOPING SMART CITY INITIATIVES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Dr. Ahmed Hassan, Assoc. Prof. Dr. Mariam El-Sharif, Tarek Khaled, Sara Abdo
		8	AI IN EDUCATION: PERSONALIZED LEARNING SYSTEMS FOR STUDENTS	Prof. Dr. Mona Samir, Mohamed Fawzy
		9	AUTONOMOUS VEHICLES AND THE FUTURE OF TRANSPORTATION IN EGYPT	Assis. Prof. Dr. Youssef Adel, Rania Sherif, Dr. Mahmoud Fathy

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Saltanat Kenzhegulova**	1	ECO-FRIENDLY MATERIALS IN SUSTAINABLE INTERIOR DESIGN	Prof. Dr. Chinedu Okeke, Dr. Ifeoma Nwosu, Adaobi Eze
		2	THE IMPACT OF NATURAL VENTILATION ON INDOOR AIR QUALITY IN URBAN BUILDINGS	Ibrahim Musa, Assoc. Prof. Dr. Amina Abdullahi
		3	SMART WATER MANAGEMENT SYSTEMS FOR URBAN ENVIRONMENTS	Alikhan Baimuratov, Assis. Prof. Dr. Dana Zhussupova, Murat Kulmanov, Yasmina Serikova
		4	GREEN INFRASTRUCTURE STRATEGIES IN CITY PLANNING: A CASE STUDY	Dr. Saltanat Kenzhegulova, Jamilya Umirzakova
		5	BIODIVERSITY AND URBAN LANDSCAPE INTEGRATION IN SPAIN	Assoc. Prof. Dr. Marta Sanchez, Dr. Luis Fernandez
		6	ADVANCED WASTE RECOVERY TECHNIQUES IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING	Josep Martinez, Clara Gomez, Prof. Dr. Elena Ruiz, Miguel Ortega, Sara Diaz
		7	ENERGY-EFFICIENT HVAC SYSTEMS FOR COMMERCIAL BUILDINGS IN DUBAI	Dr. Saeed Al Mansouri, Assis. Prof. Dr. Fatima Khalid
		8	SUSTAINABLE URBAN WATER RESOURCES MANAGEMENT AND PLANNING	Mohammed Al Falasi, Prof. Dr. Layla Ibrahim, Youssef Nasser, Hana Saeed, Dr. Khalid Ahmed
		9	INNOVATIVE LIGHTING DESIGN FOR HEALTHIER INTERIOR ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Mariam Al Kaabi, Hassan Jaber, Salim Al Harthy, Assoc. Prof. Dr. Amal Rashid, Fatima Al Nuaimi, Ali Saeed
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Aralık / Dec 27, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Meron Tadesse**	1	SUSTAINABLE URBAN DESIGN STRATEGIES FOR RAPIDLY GROWING CITIES	Prof. Dr. Alemayehu Gebremedhin, Selamawit Tesfaye, Dawit Abebe
		2	TRADITIONAL ETHIOPIAN ARCHITECTURE AND ITS INFLUENCE ON MODERN DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Meron Tadesse
		3	INTEGRATING CULTURAL HERITAGE INTO CONTEMPORARY AZERBAIJANI ARCHITECTURE	Dr. Leyla Mammadova, Farid Huseynov, Nigar Safarova
		4	ADVANCES IN DIGITAL TOOLS FOR ARCHITECTURAL DESIGN AND VISUALIZATION	Assis. Prof. Dr. Kamran Aliyev, Dr. Elvin Hasanov
		5	CLIMATE-RESPONSIVE ARCHITECTURE: CASE STUDIES FROM CHILE	Prof. Dr. Pablo Rojas, Maria Sanchez, Jorge Alvarez, Lucía Herrera
		6	URBAN REGENERATION AND COMMUNITY PARTICIPATION IN CHILEAN CITIES	Dr. Sofía Martínez, Assoc. Prof. Dr. Rodrigo Escobar
		7	INNOVATIONS IN ARCHITECTURAL MATERIALS FOR DESERT ENVIRONMENTS	Dr. Fatima Al-Kuwari, Assis. Prof. Dr. Saeed Al-Thani
		8	THE ROLE OF SMART CITIES IN THE FUTURE OF QATARI URBAN PLANNING	Prof. Dr. Ahmed Al-Mulla, Nourah Al-Hajri, Dr. Omar Bin Saeed, Lubna Al-Kuwari, Khalid Al-Sheeb, Aisha Hasan

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Emre DEMİRER DURAK**	1	TUZ STRESİ ALTINDAKİ ASTER (Aster amellus L.) BİTKİLERİNDE GA 3 UYGULAMALARININ BAZI BİTKİ BÜYÜME PARAMETRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Yük. Zir. Müh. Ömer ÖZTAŞ Doç. Dr. Özlem ÜZAL Prof. Dr. Fikret YAŞAR
		2	ÜŞÜME STRESİNİN ASTER (Aster amellus L.) BİTKİLERİNDE BAZI BÜYÜME PARAMETRELERİNE YANSIMALARI	Yük. Zir. Müh. Ömer ÖZTAŞ Doç. Dr. Özlem ÜZAL Prof. Dr. Fikret YAŞAR
		3	ORGANİK SOFRALIK DOMATES ÜRÜNÜNE YÖNELİK BLOCKCHAİN GIDA İZLENEBİLİRLİĞİ TEKNOLOJİSİ KULLANIMI	SEHER POLATDEMİR Prof. Dr. GÖKHAN ÇINAR
		4	THE ROLE OF PLANT EXTRACTS IN ENHANCING ABIOTIC STRESS TOLERANCE IN VEGETABLES	Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AYDÖNER ÇOBAN Doç. Dr. Müjgan GÜNEY Doç. Dr. Servet ARAS Doç. Dr. Hakan KELES
		5	MICROGREEN CULTIVATION IN SOILLESS CULTURE SYSTEMS	Dr. Öğr. Üyesi Gökçe AYDÖNER ÇOBAN Doç. Dr. Murat GÜNEY Doç. Dr. Servet ARAS Doç. Dr. Hakan KELES
		6	EFFECTS OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs) PRODUCED BY TRICHODERMA HARZIANUM ON SEED GERMINATION UNDER IN VITRO CONDITIONS	Assoc. Prof. Dr. Emre DEMİRER DURAK
		7	AGRICULTURAL DROUGHT AND SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT	Prof. Dr. Yasemin KUŞLU Assistant Professor Hasan ER
		8	YEM BİTKİLERİ ISLAH AMAÇLARINDA YERALAN BAZI ABİOTİK VE BİOTİK STRES FAKTÖRLERİ	Doç. Dr. Ertan ATEŞ Doç. Dr. Hazım Serkan TENİKECİER
		9	THE USE OF POLLUTION INDICES IN DETERMINING HEAVY METAL POLLUTION IN SOIL	Asst. Prof. Dr. Enise SUKUŞU

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Berkay YILMAZ**	1	A Numerical Analysis of Cylinder Positioning Effects on Natural Convection Heat Transfer within Parabolic Enclosures	Cem İLTER Doç. Dr. Zerrin SERT
		2	ADDITIVELY MANUFACTURED HEAT EXCHANGERS AND HVAC COMPONENTS: DESIGN FREEDOM, THERMAL PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY	Tuğçe TEZEL Volkan KOVAN
		3	ENGINEERING ASSESSMENT OF FIRE AND EXPLOSION BEHAVIOUR IN METALLIC AND COMPOSITE PRESSURE VESSELS	Tuğçe TEZEL Volkan KOVAN
		4	INDOOR AIR QUALITY CHANGES DURING PLA-BASED FDM PRINTING	Tuğçe TEZEL Volkan KOVAN
		5	BUCKLE COVER DAYANIKLILIK TESTLERİ VE SONUÇLARI	Berkay YILMAZ
		6	MODERN KAPLAMA TESİSLERİNDE ADIMLI YÜZEY HAZIRLIK HATLARININ ROLÜ VE SİSTEMSEL ÜSTÜNLÜKLERİ	Gözde KADIRMAN Uğur DEMİR Burak KAPTAN
		7	Experimental Investigation of Height Retention Performance in Adjustable Headrest Systems within the Scope of ECE R17 Annex 13	Project Engineer Gizem Can Student Engineer İlbey Kale
		8	KAMYON ÜRETİMİNDE ECE R58 REGÜLASYONUNA UYGUN ARKA KORUMA CİHAZLARININ İNCELEMELERİ	Bekir Can ÇİBUK Dr. Öğr. Üyesi Fatih UYSAL

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Orhan GÖZTAŞ**	1	AB EKO-TASARIM REGÜLASYONUNUN TEKSTİL SEKTÖRÜNDE YARATTIĞI YAPISAL DÖNÜŞÜM: BİRBİRİYLE BAĞLANTILI REGÜLASYONLAR IŞIĞINDA ENTEGRE, İZLENEBİLİR VE VERİ TEMELLİ TEDARİK ZİNCİRİ YAKLAŞIMI	Orhan GÖZTAŞ
		2	ÖRME KUMAŞLARIN SES YUTUM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	Mine GENÇER Prof. Dr. Erhan Kenan ÇEVEN Doç. Dr. Fatih SÜVARİ
		3	MODAL İÇERİKLİ DOKUMA KUMAŞLARA UYGULANAN TERBİYE İŞLEMLERİNİN MEKANİK VE HASLIK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Safiye Berfin DEMİRCAN Prof. Dr. Erhan KENAN ÇEVEN Doç.Dr. Gizem KARAKAN GÜNAYDIN Nejla ÇEVEN
		4	YAPAY ZEKÂNIN TEKSTİL TASARIMINDA KULLANIMI: YARATICI SÜRECİN YENİ DÖNÜŞÜMÜ	Pervin Beysir Prof. Dr. Erhan KENAN ÇEVEN Doç.Dr. Gizem KARAKAN GÜNAYDIN
		5	THE STRATEGİC CONTRİBUTİON OF PRODUCT LİFECYCLE MANAGEMENT (PLM) TO THE TEXTİLE INDUSTRY İN SUPPORTİNG CİRCULAR BUSİNESS MODELS	Sevgi GÖKÇE TOPER
		6	HAFİF TİCARİ ARAÇLARDA BİYOBOZUNUR DUKUMASIZ KUMAŞLARIN KULLANILMASI	Kılıf Mühendisi İrem Esin Meral Proje Mühendisi Berkay Yılmaz
		7	OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN YERLİ VİNİL PVC MALZEMESİ GELİŞTİRİLMESİ	Kılıf Mühendisi İrem Esin Meral Proje Mühendisi Gizem Can
		8	GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PİGMENT BOYALARLA DENİM ÜRETİMİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR BOYAMA UYGULAMALARI	Ar-Ge Uzmanı Tuncay TOYDEMİR
			SÜRDÜRÜLEBİLİR LİFLER KULLANILARAK YÜKSEK KONFORLU PİJAMA TAKIMI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ	Ahmet KUPAL Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Eyüp KURT**	1	THE EFFECTS OF GLOBALIZATION ON PARENTING ROLES	Doç. Dr. Eyüp KURT
		2	THE POSSIBILITY OF SUSTAINING THE TRADITIONAL FAMILY DESPITE MODERNITY	Doç. Dr. Eyüp KURT
		3	MİR'ÂTÜ'L-CEMÂL'DE İNSAN-I KÂMİL ANLAYIŞI	Sena Tekin
		4	MUHAMMED EMİN ER'S FATWA METHODOLOGY	Mustafa TAŞDEMİR
		5	THE PLACE OF THE FIRST CAUSE IN FARABI'S UNDERSTANDING OF CAUSALITY	Res. Asst, Merve YÜKSEL
		6	A COMPARİSON OF GHAZALİ'S CONCEPT OF MİRACLE AND CARL SCHMİTT'S STATE OF EXCEPTİON	Res. Asst, Merve YÜKSEL
		7	NAKŞÎ-HÂLİDÎ GELENEĞİNDE İLİM VE TASAVVUFUN BÜTÜNLEŞMESİ ÖRNEĞİ OLARAK NORŞİN	Büşra Bezci
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Kemal YAMAN Doç. Dr. Hikmet AKYOL**	1	SIFIR ATIK PERPEKTİFİNDEN DÖNGÜSEL EKONOMİ	Prof. Dr. Kemal YAMAN
		2	THE ROLE OF LEGAL REGULATIONS IN ECONOMIC EFFICIENCY	Dr.Öğr. Ü.Gülten ŞEN Öğr.Grv.Serdar AYDINYURT
		3	FINANCIAL DYNAMICS AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN SHAPING INCOME DISTRIBUTION: LONG- AND SHORT-RUN EVIDENCE FROM TÜRKİYE	Assoc. Prof. Dr. Ömer Uğur BULUT
		4	CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM (CBAM) AND EMISSIONS TRADING SYSTEM (ETS): AN ASSESSMENT FROM THE PERSPECTIVE OF THE EUROPEAN UNION AND TURKEY	Doktora Öğrencisi Barış ERÇİN Dr. Öğr. Üyesi HAYRİYE BAŞCI NUR
		5	THE IMPACTS OF THE ISRAEL-PALESTINE WAR ON TÜRKİYE-ISRAEL FOREIGN TRADE	Doktora Öğrencisi Barış ERÇİN Prof. Dr. Doğan UYSAL
		6	DIGITALIZATION IN THE INTERNATIONAL MONETARY SYSTEM: THE HEGEMONY OF THE DOLLAR AND THE CBDC COMPETITION	Bahar MATUR Prof. Dr. Doğan UYSAL
		7	THE IMPACT OF CARBON TAX ON SECTORAL COMPETITION IN TURKEY	Bahar MATUR DR. Öğr. Üyesi, Hayriye BAŞCI NUR
		8	BAKIM EKONOMİSİ VE KADIN EMEĞİ: ILO'NUN SOSYAL KORUMA YAKLAŞIMI	Doç. Dr. Neşe YILDIZ
			BRICS ÜLKELERİNDE SOSYO-EKONOMİK GÖSTERGELERİN ORMANSIZLAŞMA ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Doç. Dr. Melahat BATU AĞIRKAYA Doç. Dr. Hikmet AKYOL

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Doç. Dr. Ali CİNGÖZ	1	THE USE OF PSEUDO-CEREALS IN BOZA PRODUCTION AND THEIR EFFECT ON QUALITY CHARACTERISTICS	Doç. Dr. Ali CİNGÖZ
		2	USE OF COFFEE BY-PRODUCTS IN MODEL FOOD SYSTEMS: THE BISCUIT APPLICATION	Doç. Dr. Ali CİNGÖZ
		3	YÜKSEK PROTEİN VE YÜKSEK LİF İÇEREN FONKSİYONEL MUFFİN KEKLERDE YAPISAL STABİLİTE PROBLEMLERİNİN İNCELENMESİ	Anı KUŞCU
		4	BESİN İÇERİĞİNCE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ SOS/DOLGU SİSTEMLERİNDE FARKLI SÜT BAZLI PROTEİN KAYNAKLARININ TEKNOLOJİK FONKSİYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	Anı KUŞCU
		5	KOMBUCHA ÇAYININ SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ	Ferzan Öznil ÖZDİL Prof.Dr. Tünay KONTAŞ AŞKAR
		6	The Importance of Egg White in Nutrition and Its Applications in Food Technology	Öğr. Gör. Zeynep Nur KARAKUŞ Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ Doç. Dr. Yasemin ÇELEBİ
		7	Extraction of Sulforaphane from Foods and Its Health Potential	Öğr. Gör. Zeynep Nur KARAKUŞ Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ Doç. Dr. Yasemin ÇELEBİ
		8	EVALUATION OF LABORATORY-SCALE DEXTRANASE PRODUCTION POTENTIAL USING FUNGAL ISOLATES FROM VARIOUS SOURCES	Hatice Gül SOLMAZ M.Sc. Biologist Fatma ŞİMŞEK M.Sc. Chemical Engineer Özgür ALSAN M.Sc. Biologist Yeliz TAŞÇI M.Sc. Biologist Enfal ÇÖMLEKÇİ
		9	2020-2025 DÖNEMİNDE TÜRKİYE MENŞELİ LİMONLARA İLİŞKİN RASFF BİLDİRİMLERİNİN ANALİZİ	Dr. Senem TÜFEKÇİ
		10	PASTRAMİ TADIN MARİNE EDİLMİŞ PİLİÇ PARÇALARINA KAPLAMA MATERYALİ YARDIMIYLA ENTEGRE EDİLMESİ	Rabia EZEN
		11	THE EFFECTS OF HOT AIRFRYER USE ON HUMAN HEALTH AND FOOD QUALITY	Rabia İrem KARAKUZU Cemal KAYA
		12	PROTEIN QUALITY OF EDIBLE INSECTS	Ayşen BAŞ Prof.Dr. Sedef Nehir EL

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Lecturer PhD. Gürkan KILIÇ**	1	SOSYAL MEDYAYLA BİRLİKTE DÖNÜŞEN MAHREMİYET ALGISI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Büşra ÖZCAN ÖZOĞLU
		2	İLETİŞİM ÖĞRENCİLERİNİN TOPLUMSAL CİNSİYET BAĞLAMINDA MEDYA İLETİLERİNİ ANALİZ ETME BECERİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Funda İNCE BAKİ
		3	CONSPICUOUS CONSUMPTION IN GEN Z: THE ROLE OF FEAR OF NEGATIVE EVALUATION AND CONSUMER SUSCEPTIBILITY TO INTERPERSONAL INFLUENCES.	Dr. Öğretim. Üyesi İsmail Gökhan CİNTAMÜR
		4	GENÇLİK VE SPOR BAKANLIĞI'NIN HEDEF ODAKLI İLETİŞİM STRATEJİLERİ, YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ YAKLAŞIMLAR VE GÜVENLİK GÖREVLİLERİNİN ROLÜ	Esra YİĞİT
		5	WOMAN IMPRISONED IN THE BOTTLE: AN ANALYSIS OF THE OBJECTIFIED FEMALE BODY IN ADVERTISING VISUALS	Yüksek Lisans Öğrencisi Aslıhan AKGÜL Doç. Dr. Ömer AYDINLIOĞLU
		6	THE RISE OF SHORT-FORM VIDEO CONTENT: THE IMPACT OF INSTAGRAM REELS ON THE DIGITAL MEDIA ECOSYSTEM	Dr. Alya Şahin Sarı
		7	DIGITAL CONSPICUOUS CONSUMPTION: THE REPRESENTATION AND REPRODUCTION OF LUXURY ON INSTAGRAM	Dr. Alya Şahin Sarı
		8	THE DIGITAL TRANSFORMATION OF JOURNALISM AND THE ISSUE OF TRUST	Lecturer PhD. Gürkan KILIÇ
		9	THE FUTURE OF TRADITIONAL MEDIA	Lecturer PhD. Gürkan KILIÇ
			BİR POPÜLER KÜLTÜR ARACI OLARAK SOSYAL MEDYA: KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME	Doç.Dr. Ersin DİKER Kemal Can TÜRK

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Prof. Dr. Bahattin DEMİRTAŞ**	1	THE POSITION OF THE TRANSLATION OFFICE IN THE OTTOMAN POLITICAL AND ADMINISTRATIVE STRUCTURE	Muhammet Fatih BOZAN
		2	A REVIEW OF THE REIGN OF SULTAN ABDULHAMID II THROUGH EXAMPLES FROM THE IRISH PRESS	Merve DOĞAN
		3	AN ANALYSIS OF PERICLES' STRATEGY DURING THE PELOPONNESIAN WAR FROM A MILITARY PERSPECTIVE	Doç. Dr. Olcay Turan
		4	TÜRKLERDE ASKERÎ EĞİTİM VE AV KÜLTÜRÜ	Dr. Umut YOLSEVER
		5	ESKİ TÜRKLERDE SU KÜLTÜ VE DOĞA İNANCI	Dr. Umut YOLSEVER
		6	PAPA VI. PAUL'UN TÜRKİYE ZİYARETİ (1967)	Prof. Dr. Bahattin DEMİRTAŞ
		7	PAPA II. JOHN PAUL'UN TÜRKİYE ZİYARETİ (1979)	Prof. Dr. Bahattin DEMİRTAŞ
		8	SON DÖNEM OSMANLI İKTİSADİ HAYATINDA ALMAN MODELİ: AVANZÂDE MEHMED SÜLEYMAN'IN "ALMAN USULÜ TİCARET VE SERVET USULLERİ" ESERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	Prof. Dr. Ahmet Sait ÖZKUL
		9	ERKEN CUMHURİYET DÖNEMİ'NDE TİCARET KURSLARI: 1927 TARİHLİ "KIZ VE ERKEKLERE MAHSUS TİCARET KURSLARI MÜFREDAT PROGRAMI" ÜZERİNE BİR İNCELEME	Prof. Dr. Ahmet Sait ÖZKUL
		10	AN OTTOMAN–BRITISH ENCOUNTER IN THE MID-NINETEENTH CENTURY: THE TRAVELOGUE OF AN OTTOMAN COMMANDER IN ENGLAND	Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YILMAZ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Prof. Dr. Erkan FİDAN**	1	TRANSFORMATION OF SPACE: AN ARCHITECTURAL AND SOCIAL EVALUATION OF THE TRANSITION FROM CUMBA TO BALCONY İN SAFRANBOLU	Doç. Dr. Bülent ORAL
		2	CITY-MEMORY-SPACE: AN EVALUATION OF THE RE-FUNCTIONALIZATION AND REOPENING OF THE TEKEL ADMINISTRATIVE BUILDINGS	Arş. Gör. Rumeysa TEKE Öğr. Gör. Osman Ziyaettin YAĞCI Doç. Dr. Ayşen Esra BÖLÜKBAŞI ERTÜRK
		3	REPRESENTATION OF ANKARA EDUCATIONAL BUILDINGS DURING THE REPUBLICAN PERIOD ON STAMPS: THE PTT STAMP MUSEUM COLLECTION	Arş. Gör. Rumeysa TEKE Arş. Gör. Hasan SÖYLEMEZ Arş. Gör. Dr. Ayşe Merve SARAÇOĞLU GEZER Doç. Dr. Ayşen Esra BÖLÜKBAŞI ERTÜRK
		4	METAL PRODUCTION AND THE SCOPE OF METALLURGICAL KNOWLEDGE IN ANCIENT LITERARY SOURCES	Begüm AKI Dr. Öğr. Üyesi Handegül CANLI
		5	KÜLTÜREL VARLIKLARIN DOĞAL AFETLERDEN KORUNMASI VE YEREL YÖNETİMLER	Arkeolog Ali KARAKAYA
		6	AUXILIARY SCIENCES IN ARCHAEOLOGY: INTERDISCIPLINARY APPROACHES AND ANALYTICAL METHODS	Prof. Dr. Erkan FİDAN
		7	TAVŞANLI HÖYÜK: BRONZE AGE INTERACTIONS BETWEEN INLAND WESTERN ANATOLIA AND THE AEGEAN WORLD	Prof. Dr. Erkan FİDAN Dr. Sezer SEÇER FİDAN
		8		
		9		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:00 – 12:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof. Dr. Semiha Şahin**	1	TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ ÖĞRETİM PROGRAMLARINDA HATA KÜLTÜRÜNÜN ÖRTÜK YANSIMALARI: BİR DOKÜMAN ANALİZİ	Prof.Dr. Sevda KOÇ AKRAN
		2	NEETS IN TÜRKİYE FROM THE PERSPECTIVE OF EDUCATIONALADMINISTRATION AND STRUCTURAL INEQUALITY	Dr. Kübra YENEL
		3	ARŞİMET'İN ÇOKGEN YÖNTEMİNE DAYALI BİR ÖĞRENME ETKİNLİĞİNİN ÖĞRETMEN ADAYLARININ II SAYISINA İLİŞKİN KAVRAMSAL ANLAYIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Doç. Dr. S. Deniz KILIÇ
		4	MATEMATİK TARİHİ TEMELLİ BİR ETKİNLİK OLARAK ARŞİMET'İN II YÖNTEMİNİN MATEMATİK ÖĞRETMEN ADAYLARI TARAFINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr. S. Deniz KILIÇ
		5	Okul Yönetiminde Çevik Liderlik	Prof. Dr. Semiha Şahin
		6	Okul Yönetiminde Sürdürülebilir Liderlik	Prof.Dr. Semiha ŞAHİN
		7	AN INVESTIGATION OF TEACHERS' CULTURAL INTELLIGENCE LEVELS ACCORDING TO PERSONAL VARIABLES	Zeynep DAMAR Prof. Dr., Hasan Basri MEMDUHOĞLU
		8	EĞİTİM BİLİMLERİNDE SOSYAL AĞ ANALİZİ ARAŞTIRMALARINA DAYALI KURAMSAL BİR SENTEZ	Mehmet Emin ÖREN Prof. Dr. Hasan Basri MEMDUHOĞLU
		9	ÖĞRETİM TASARIM MODELLERİNDE DOĞAL DİL İŞLEME TEKNOLOJİLERİ KULLANILABİLİR Mİ?	Arş. Gör. Dr. Erhan CEYLAN
		10	UYARLANABİLİR ÖĞRENME ORTAMLARINDA YAPAY ZEKA ETKİSİ	Doç. Dr. Barış AYAZ
		11	YAPAY ZEKA TEKNOLOJİLERİNİN BİRLEŞTİRİLMİŞ TEKNOLOJİ KABUL VE KULLANIM MODELİ BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr. Barış AYAZ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Enkhjargal Munkhbayar,**	1	TRADITIONAL GEORGIAN WINE FERMENTATION TECHNIQUES AND THEIR MODERN GASTRONOMIC APPLICATIONS	Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Levan Beridze, Mariam Kapanadze
		2	SUPRA FEAST RITUALS: GEORGIAN HOSPITALITY TRADITIONS IN CONTEMPORARY FINE DINING	Assoc. Prof. Dr. Tamar Gelashvili, Irakli Chikhradze
		3	FERMENTED DAIRY PRODUCTS AND PROBIOTIC HERITAGE IN HIGH CAUCASUS GASTRONOMY	Dr. Lasha Tsintsadze, Maka Lomidze, Giorgi Khutsishvili
		4	MONGOLIAN HORSE MILK FERMENTATION: TRADITIONAL AIRAG PRODUCTION AND MODERN APPLICATIONS	Prof. Dr. Batbold Enkhtur, Sarantuya Dashdondog
		5	TRADITIONAL MONGOLIAN BUUZ STEAMING TECHNIQUES AND TEXTURAL ENGINEERING	Dr. Tumentsogt Jigjid, Oyundelger Bat-Erdene, Assis. Prof. Dr. Ganbold Tsogt
		6	NOMADIC MEAT PRESERVATION METHODS: BIKHESHI AND FERMENTED SAUSAGES OF MONGOLIA	Assoc. Prof. Dr. Enkhjargal Munkhbayar, Boldbaatar Dorj
		7	PERSIAN RICE COOKING MASTERY: TAH DIG FORMATION CHEMISTRY AND TEXTURAL PERFECTION	Prof. Dr. Reza Mahmoudi, Soraya Ahmadi, Dr. Ali Jafari
		8	SAFFRON INFUSION TECHNIQUES IN CLASSICAL PERSIAN CUISINE AND MOLECULAR APPLICATIONS	Fatemeh Karimi, Assoc. Prof. Dr. Hassan Rezaei, Nima Bahrami
		9	PERSIAN FRUIT AND NUT HARVEST FESTIVALS: GASTRONOMIC RITUALS AND SEASONAL INNOVATIONS	Dr. Zahra Hosseini, Leila Tavakoli, Prof. Dr. Mohammad Shirazi
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Bolormaa Tsogt**	1	INTEGRATING DIGITAL STORYTELLING INTO GEORGIAN PRIMARY EDUCATION FOR ENHANCED LITERACY DEVELOPMENT	Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Levan Beridze, Mariam Kapanadze
		2	STEM EDUCATION REFORM THROUGH PROJECT-BASED LEARNING IN RURAL GEORGIAN SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Tamar Gelashvili, Dr. Giorgi Khutsishvili
		3	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES FOR CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER IN TBILISI KINDERGARTENS	Dr. Lasha Chikhradze, Assis. Prof. Dr. Nino Lomidze, Elene Tsintsadze
		4	NOMADIC HERITAGE INTEGRATION IN MONGOLIAN MODERN CURRICULUM THROUGH EXPERIENTIAL LEARNING	Prof. Dr. Bat-Erdene Tsend, Sarantuya Enkhbayar
		5	BLENDED LEARNING MODELS FOR VOCATIONAL EDUCATION IN MONGOLIA'S MINING REGIONS	Dr. Otgonbayar Jargalsaikhan, Enkhjargal Batbold, Assis. Prof. Dr. Davaajargal Munkhbayar
		6	MULTILINGUAL PEDAGOGY FOR ETHNIC MINORITY STUDENTS IN MONGOLIAN BORDER SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Bolormaa Tsogt, Ganbold Dorj
		7	STEAM EDUCATION INTEGRATION THROUGH TRADITIONAL IRANIAN ARTS AND CRAFTS	Dr. Fatemeh Ahmadi, Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli
		8	MONTESSORI METHOD ADAPTATION FOR PRESCHOOLERS IN URBAN IRANIAN COMMUNITIES	Leila Mahmoudi, Dr. Zahra Jafari, Nima Bahrami

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Nasir Uddin**	1	FISCAL POLICY RESPONSES TO COMMODITY PRICE SHOCKS IN KAZAKHSTAN'S RESOURCE ECONOMY	Prof. Dr. Yerzhan Abayev, Aizhan Kassenova
		2	MONETARY POLICY TRANSMISSION MECHANISMS IN KAZAKHSTAN'S FINANCIALLY DOLLARIZED ECONOMY	Assoc. Prof. Dr. Ruslan Zhumatov, Nurlan Bekbolatov
		3	TRADE DIVERSIFICATION STRATEGIES AND ECONOMIC RESILIENCE IN POST-SOVIET KAZAKHSTAN	Dr. Gulnara Abayeva, Dina Sarsenbayeva, Aidana Kurmangaliyeva
		4	MICROFINANCE IMPACT ON RURAL POVERTY ALLEVIATION IN BANGLADESH FLOOD-PRONE REGIONS	Prof. Dr. Rahman Karim, Fatima Begum
		5	REMITTANCE UTILIZATION PATTERNS AND HOUSEHOLD INVESTMENT DECISIONS IN BANGLADESH	Assoc. Prof. Dr. Hossain Mohammad, Ayesha Siddiqua
		6	FISCAL FEDERALISM CHALLENGES IN BANGLADESH DECENTRALIZATION REFORMS	Dr. Nasir Uddin, Shabnam Jahan
		7	OIL SUBSIDY REFORM IMPACTS ON ENERGY POVERTY AND INEQUALITY IN NIGERIA	Prof. Dr. Chukwuma Soludo, Ngozi Okonjo
		8	TRADE POLICY LIBERALIZATION AND MANUFACTURING VALUE ADDED GROWTH IN NIGERIA	Assoc. Prof. Dr. Akinwumi Adesina,
		9	FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES AND MSME GROWTH CONSTRAINTS IN NORTHERN NIGERIA	Dr. Obadiah Nwankwo, Aisha Mohammed, Emeka Okoro
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Sharif Ahmed,**	1	INTERNATIONAL HUMAN RIGHTS LAW APPLICATIONS IN POST-SOVIET CENTRAL ASIAN LEGAL SYSTEMS: KAZAKHSTAN PERSPECTIVE	Prof. Dr. Aizhan Kassenova, Yerzhan Tolegenov, Dina Sarsenbayeva
		2	DIGITAL PRIVACY LEGISLATION AND DATA PROTECTION FRAMEWORKS IN KAZAKHSTAN'S CYBERSPACE GOVERNANCE	Assoc. Prof. Dr. Ruslan Zhumatov, Aidana Kurmangaliyeva
		3	ANTI-CORRUPTION LEGAL REFORMS AND INSTITUTIONAL EFFECTIVENESS IN KAZAKHSTAN'S PUBLIC PROCUREMENT SYSTEMS	Dr. Nurlan Bekbolatov, Gulnara Abayeva
		4	CLIMATE CHANGE LITIGATION STRATEGIES UNDER BANGLADESH ENVIRONMENTAL JUSTICE FRAMEWORKS	Prof. Dr. Rahman Chowdhury, Fatima Islam
		5	MARITIME BOUNDARY DISPUTE RESOLUTION MECHANISMS IN BAY OF BENGAL LEGAL REGIMES	Assoc. Prof. Dr. Sharif Ahmed, Ayesha Rahman
		6	WOMEN'S PROPERTY RIGHTS REFORMS IN BANGLADESH ISLAMIC FAMILY LAW CONTEXTS	Dr. Nazma Khanam, Bilkis Akter
		7	FOREIGN DIRECT INVESTMENT REGULATION AND DISPUTE SETTLEMENT IN NIGERIAN OIL AND GAS SECTOR	Prof. Dr. Chukwudi Okeke, Ngozi Eze
		8	ANTI-MONEY LAUNDERING COMPLIANCE FRAMEWORKS IN NIGERIA'S FINANCIAL INSTITUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Yusuf, Adebayo Ogunleye
		9	CONSTITUTIONAL FEDERALISM AND RESOURCE CONTROL DISPUTES IN NIGERIA'S OIL PRODUCING REGIONS	Dr. Aminu Bello, Chioma Nwosu,
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Nasrin Sultana,**	1	POST-SOVIET IDENTITY NEGOTIATION IN CONTEMPORARY KAZAKHSTAN NOVELS	Prof. Dr. Aigul Zhumadilova, Yerzhan Kudaibergenov
		2	EPIC TRADITIONS AND MODERN ECOLOGICAL CONCERNS IN KAZAKH STAN WRITING	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Sarsenova, Nurlan Abildayev
		3	FEMINIST DISCOURSES IN URBAN KAZAKH SHORT FICTION POST-IND EPENDENCE	Dr. Aidana Tolegenova, Zhuldyz Kairatkyzy
		4	POSTCOLONIAL HYBRIDITY IN BANGLADESHI DIASPORIC POETRY WRITING TRADITIONS	Prof. Dr. Rehana Begum, Md. Faisal Ahmed
		5	CLIMATE FICTION AND RIVERINE IDENTITIES IN CONTEMPORARY BANGLADESHI NOVELS	Assoc. Prof. Dr. Nasrin Sultana, Karim Hossain
		6	URBAN SLUM NARRATIVES AND SUBALTERN VOICES IN DHAKA LITERATURE	Dr. Shabnam Jahan, Rafiqul Islam
		7	ORAL TRADITION REVIVAL IN CONTEMPORARY NIGERIAN YORUBA POETRY	Prof. Dr. Adebayo Ogunleye, Chioma Nwosu
		8	POSTCOLONIAL GHOST STORIES AND HAUNTED NATIONALISM IN IGBO LITERATURE	Assoc. Prof. Dr. Ifeoma Okonkwo, Emeka Chukwu
		9	PIDGIN ENGLISH NOVELS AND LAGOS UNDERCLASS RESISTANCE AESTHETICS	Dr. Tunde Bakare,
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Yerlan Toregeldiev,**	1	THE ESCHATOLOGICAL VISION IN CENTRAL ASIAN SUFI TEXTS: KAZAKH INTERPRETATIONS OF THE DAY OF JUDGMENT	Prof. Dr. Almaz Kenzhegulov, Aizhan Sarsenova
		2	INTERFAITH DIALOGUE PRACTICES IN MULTIETHNIC KAZAKHSTAN: THEOLOGICAL FOUNDATIONS AND CONTEMPORARY CHALLENGES	Assoc. Prof. Dr. Yerlan Toregeldiev, Dina Abilova, Nursultan Bekov
		3	THE CONCEPT OF DIVINE UNITY (TAWHID) IN CONTEMPORARY KAZAKH MUSLIM THOUGHT	Dr. Gulnara Zhumaliyeva, Timur Kairatov
		4	CHRISTIAN-MUSLIM RELATIONS IN BANGLADESH: THEOLOGICAL PERSPECTIVES ON PEACEBUILDING	Prof. Dr. Mohammad Rahman, Fatima Begum
		5	SUFI MYSTICISM AND FOLK RELIGIOSITY IN RURAL BANGLADESH: THEOLOGICAL SYNCRETISM ANALYSIS	Assoc. Prof. Dr. Abdul Karim, Rehana Akter, Jamal Uddin
		6	SCRIPTURAL HERMENEUTICS IN BANGLADESH CHRISTIANITY: CONTEXTUALIZING THE INCARNATION	Dr. Joshua Paul, Sister Maria Gomes
		7	AFRICAN TRADITIONAL RELIGIONS AND PENTECOSTAL ENCOUNTERS IN CONTEMPORARY NIGERIA	Prof. Dr. Emmanuel Okonkwo, Chinedu Eze
		8	ISLAMIC ESCHATOLOGY IN HAUSA MUSLIM COMMUNITIES: NORTHERN NIGERIAN PERSPECTIVES	Assoc. Prof. Dr. Amina Yusuf, Ibrahim Garba
		9	TRINITY DOCTRINE IN YORUBA CHRISTIAN THEOLOGY: CONCEPTUAL CONVERGENCES	Dr. Olusegun Adebayo, Funmi Ojo, Tunde Bakare
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Nadia Farouk**	1	INTERGENERATIONAL FAMILY CONFLICTS AND RESOLUTION STRATEGIES IN TRADITIONAL AFGHAN HOUSEHOLDS	Prof. Dr. Abdul Rahman Khan, Fatima Azizi, Noorullah Safi
		2	MATERNAL MENTAL HEALTH IMPACT ON CHILD DEVELOPMENT IN POST-CONFLICT AFGHAN COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Zahra Malalai, Dr. Hamidullah Wardak
		3	EXTENDED FAMILY SUPPORT SYSTEMS AND WOMEN'S ECONOMIC PARTICIPATION IN AFGHAN RURAL AREAS	Layla Nouri, Dr. Mohammad Qasem, Soraya Hakimi
		4	MARRIAGE ARRANGEMENTS AND FAMILY DYNAMICS IN OMANI TRIBAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Ahmed Al-Harthi, Fatima Al-Maskari
		5	PARENTING PRACTICES AND CHILD SOCIALIZATION IN URBAN OMANI FAMILIES	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Belushi, Dr. Nour Al-Hinai, Salim Al-Mahrooqi
		6	ELDER CARE RESPONSIBILITIES AND INTERGENERATIONAL SOLIDARITY IN OMANI SOCIETY	Mariam Al-Rashdi, Dr. Hassan Al-Ghafri
		7	FAMILY BUSINESS GOVERNANCE AND SUCCESSION IN EGYPTIAN ENTERPRISES	Prof. Dr. Omar Khalil, Dr. Amina Hassan, Karim Abdel
		8	WOMEN'S ROLES IN EGYPTIAN FAMILY DECISION-MAKING PROCESSES	Assoc. Prof. Dr. Nadia Farouk, Youssef Salem
		9	CHILD REARING PRACTICES AND EDUCATIONAL ASPIRATIONS IN EGYPTIAN URBAN FAMILIES	Dr. Layla Mahmoud, Prof. Dr. Ahmed Sorour, Fatima Reda
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Musa**	1	**COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS FOR ELDERLY SUPPORT IN RURAL RUSSIAN REGIONS**	**Prof. Dr. Irina Petrova, Dr. Sergei Kuznetsov, Anna Volkova**
		2	**MENTAL HEALTH SUPPORT SYSTEMS FOR MIGRANT WORKERS IN MOSCOW METROPOLITAN AREA**	**Assoc. Prof. Dr. Elena Smirnova, Mikhail Ivanov**
		3	**CHILD PROTECTION STRATEGIES AGAINST DOMESTIC VIOLENCE IN POST-SOVIET RUSSIAN FAMILIES**	**Dr. Natalia Fedorova, Pavel Sokolov, Olga Dmitrieva**
		4	**WOMEN EMPOWERMENT PROGRAMS THROUGH VOCATIONAL TRAINING IN DUBAI MIGRANT COMMUNITIES**	**Fatima Al-Mansoori, Dr. Khalid Rahman**
		5	**YOUTH MENTAL HEALTH INITIATIVES ADDRESSING SOCIAL MEDIA ADDICTION IN DUBAI SCHOOLS**	**Assoc. Prof. Dr. Aisha Al-Ketbi, Sara Hassan, Noor Salem**
		6	**HOMELESS FAMILY REINTEGRATION PROGRAMS IN DUBAI'S LABOR MARKETS**	**Prof. Dr. Omar Al-Fahim, Layla Mahmoud**
		7	**COMMUNITY DEVELOPMENT AGAINST STREET CHILDREN EXPLOITATION IN LAGOS URBAN SLUMS**	**Prof. Dr. Chinedu Okoro, Ngozi Eze, Dr. Adebayo Yusuf**
		8	**GENDER-BASED VIOLENCE RESPONSE SYSTEMS IN NORTHERN NIGERIAN RURAL COMMUNITIES**	**Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Musa**
		9	**MENTAL HEALTH SUPPORT FOR CONFLICT-AFFECTED IDPS IN NORTHEAST NIGERIA**	**Dr. Fatima Aliyu, Samuel Okafor, Rahma Ibrahim**

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assis. Prof. Dr. Sara Jafari**	1	INTEGRATING DIGITAL TECHNOLOGIES IN RURAL AZERBAIJANI PRIMARY EDUCATION CURRICULA	Prof. Dr. Aysel Mammadova, Dr. Elvin Huseynov, Nigar Aliyeva
		2	EFFECTIVENESS OF BILINGUAL TEACHING METHODS FOR AZERBAIJANI STEM SUBJECTS	Assoc. Prof. Dr. Kamal Rahimov, Farid Gurbanova, Dr. Leyla Ismayilova
		3	IMPACT OF TEACHER TRAINING PROGRAMS ON CLASSROOM INNOVATION IN IRANIAN HIGH SCHOOLS	Dr. Reza Mohammadi, Assis. Prof. Dr. Sara Jafari
		4	DEVELOPING CRITICAL THINKING SKILLS THROUGH PROJECT-BASED LEARNING IN IRAN	Fatemeh Karimi, Prof. Dr. Ali Hosseini, Mina Bahrami
		5	ADDRESSING GENDER DISPARITIES IN ALGERIAN VOCATIONAL EDUCATION PROGRAMS	Assoc. Prof. Dr. Zahra Belkacem, Yassine Amrani
		6	ENHANCING LITERACY RATES THROUGH COMMUNITY SCHOOL INITIATIVES IN ALGERIA	Dr. Samir Bouzid, Nadia Cherif, Karim Mansouri
		7	REFORMING GEORGIAN UNIVERSITY CURRICULA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS	Prof. Dr. Nino Chikhradze, Dr. Levan Tsiklauri, Mariam Gelashvili
		8	TECHNOLOGY INTEGRATION CHALLENGES IN GEORGIAN RURAL SECONDARY EDUCATION	Assis. Prof. Dr. Tamar Kvernadze, Irakli Beridze
		9	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES FOR STUDENTS WITH SPECIAL NEEDS IN GEORGIA	Dr. Giorgi Lomidze, Lali Kapanadze, Prof. Dr. Maka Tsintsadze
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 10:30 – 12:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof. Dr. Vladimir Lupu**	1	INNOVATIVE STEM EDUCATION METHODOLOGIES FOR POST-WAR RECONSTRUCTION IN UKRAINIAN SCHOOLS	Prof. Dr. Olena Kovalenko, Dr. Mykhailo Petrenko, Anna Sydorenko
		2	DIGITAL LITERACY PROGRAMS ENHANCING INCLUSIVE EDUCATION FOR RURAL UKRAINIAN STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Iryna Bohdanova, Viktor Melnyk, Sofia Hrytsenko
		3	TEACHER TRAINING INITIATIVES ADDRESSING MULTILINGUAL CLASSROOMS IN ERITREAN PRIMARY EDUCATION	Dr. Selam Tekle, Assis. Prof. Dr. Yonas Berhe
		4	VOCATIONAL EDUCATION REFORMS FOR YOUTH EMPLOYMENT IN ERITREAN COASTAL COMMUNITIES	Meron Asmelash, Dr. Dawit Girmay, Helen Yohannes
		5	CURRICULUM DEVELOPMENT FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN ALGERIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Fatima Zahra Belkacem, Karim Amrane
		6	GENDER EQUITY STRATEGIES IN ALGERIAN HIGHER EDUCATION STEM PROGRAMS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Cherif, Dr. Samir Lounis, Amina Hadji
		7	REMOTE LEARNING TECHNOLOGIES FOR RURAL EDUCATION ACCESS IN MOLDOVA	Dr. Ion Ceban, Mariana Popa, Alexei Rotaru
		8	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT THROUGH INTERNATIONAL PARTNERSHIPS IN MOLDOVA	Assis. Prof. Dr. Elena Ciorba, Prof. Dr. Vladimir Lupu
		9	INCLUSIVE EDUCATION MODELS FOR CHILDREN WITH DISABILITIES IN MOLDOVAN SCHOOLS	Dr. Natalia Gurau, Sergiu Balan, Cristina Dodon
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Lecturer Betül ÇATAL**	1	THE FRAGILE BALANCE BETWEEN COMBATING DISINFORMATION on the INTERNET and FREEDOM of EXPRESSION	Dr. Lecturer Betül ÇATAL
		2	ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED SURVEILLANCE SYSTEMS and THE CORE OF PRIVATE LIFE: THE EROSION of THE PRINCIPLE of PROPORTIONALITY	Dr. Lecturer Betül ÇATAL
		3	ANAYASAL DEMOKRASİNİN ASGARİ KOŞULLARI ÇERÇEVESİNDE İNSAN HAKLARI: İFADE ÖZGÜRLÜĞÜ VE BİLGİ EDİNME HAKKI	Ayça SERİN
		4	VİYANA SATIM ANLAŞMASI UYARINCA SÖZLEŞMENİN İHLALİ HÂLİNDE TARAFLARIN SAHİP OLDUĞU HUKUKİ İMKÂNLAR	Necla ÖZTÜRK Güven YARAR
		5	TÜRK HUKUKUNDA YATIRIM YOLUYLA VATANDAŞLIK KAZANIMINA İLİŞKİN DÜZENLEMELERİN BAZI İLKELER ÇERÇEVESİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ	Necla ÖZTÜRK Güven YARAR
		6	AN ASSESSMENT OF WHETHER COVID-19 SHOULD BE CONSIDERED AN OCCUPATIONAL DISEASE FOR HEALTHCARE WORKERS	Attorney Berfin Uyma Bulut
		7	BİLİŞİM HUKUKU AÇISINDAN BÜYÜK VERİ: HUKUKİ, TEKNİK VE ETİK BOYUTLARIYLA KAPSAMLI BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi Ali CENGİZ Doç. Dr. Sadullah ÇELİK Dr. Öğr. Üyesi Bilge DOĞANLI
		8	MARKA VE COĞRAFİ İŞARETLER İLE GELENEKSEL ÜRÜN ADLARININ TÜRK SINAI MÜLKİYET HUKUKU KAPSAMINDA KARŞILAŞTIRILMASI	Dr. Öğr. Üyesi Ali CENGİZ Dr. Öğr. Üyesi Bilge DOĞANLI Doç. Dr. Sadullah ÇELİK
		9	AB Yapay Zekâ Tüzüğü Kapsamında Yasaklı ve Yüksek Riskli Alanlardan Elde Edilen Delillerin Ceza Muhakemesinde Kullanılması ve Değerlendirilmesi	Av. Fahriye ÖZKORKMAZ ÖZKAN
		10	Blokzincir Tabanlı Genel Kurulların Türk Ticaret Hukuku Bakımından Değerlendirilmesi	Dr. Öğr. Üyesi Emel TEKTEN
		11	Ticari Kredilerde Bankalar Tarafından Alınan Senetlerin İfa Yerine mi İfa Uğruna mı Verildiği Sorunu	Dr. Öğr. Üyesi Emel TEKTEN
		12	ÜRÜN HİZMET VE DENEYİM PAZARLAMASINDA İLETİŞİM STRATEJİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Oğuz YAVUZYILMAZ
		13	TİCARET, SATIŞ VE PAZARLAMA KAVRAMLARI BAĞLAMINDA SİYASETNAME	Dr. Öğr. Üyesi Oğuz YAVUZYILMAZ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Doç. Dr. Güzin PIHTILI YILDIZ**	1	USE OF NOVEL SOLVENT SYSTEMS IN THE DETERMINATION OF MYCOTOXINS FROM FOOD SAMPLES	Prof. Dr. Adil ELİK Prof. Dr. Nail ALTUNAY Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN
		2	THE ROLE OF DEEP EUTECTIC SOLVENTS IN MICROEXTRACTION TECHNIQUES	Prof. Dr. Adil ELİK Prof. Dr. Nail ALTUNAY Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN
		3	AYÇİÇEĞİ TABLASINDAN AKTİF KARBON ÜRETİMİ VE BOYARMADDE GİDERİMİNDE KULLANIMI	Burcu DEMİRDAL Prof. Dr. İlknur DEMİRAL
		4	DEVELOPMENT OF A SULFATE-FREE SHAMPOO CONTAINING PUMPKIN EXTRACT	Sibel ÖZKÖMÜRCÜ TUNCER Öğr. Gör. Dr. Beste KARADENİZ Öğr. Gör. Dr. Şeref KARADENİZ Prof. Dr. Emine TEKİN
		5	Fe_3O_4 İLE MODİFİYE EDİLMİŞ BUĞDAY SAMANI KULLANILARAK SULU ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONLA METİLEN MAVİSİ GİDERİMİ	Büşra YAZICI Prof. Dr. Neşe ÖZTÜRK
		6	REMOVAL OF CR(VI) FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY CROSS-LINKED POROUS SA1YA POLYMERIC ADSORBENT: INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADSORBENT AMOUNT	Ali İhsan DİKMEOĞLU Araş. Gör. Yağmur YANIKTEPE Prof. Dr. Ali KARA
		7	GRAFEN İÇERİKLİ POLİMER KOMPOZİTİN TAN δ DAVRANIŞININ YANIT YÜZEY YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ	Doç. Dr. Güzin PIHTILI YILDIZ
		8	TEKSTİL KUMAŞLARI ÜZERİNE SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİMER KAPLAMA MALZEMELERİNİN ARAŞTIRILMASI	Ertuğrul YILMAZ Prof. Dr. Ali Kara Halim ÇİMCİLER

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fethi ERTENLİ**	1	İNCE DANELİ ZEMİNLERİN BÜZÜLME LİMİTLERİNİN BELİRLENMESİ	İnşaat Müh. Güliz HACIHASANOĞLU Prof. Dr. Ertan BOL
		2	ÇİFT EĞRİLİKLİ FGM SANDVİÇ KABUKLARDA POROZİTE ORANI VE YÜZEY KATMANI TÜRÜNÜN TERMAL BURKULMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fethi ERTENLİ
		3	DEPREM ANALİZ YÖNTEMLERİNİN BETONARME YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Lisans Bitirme Projesi Öğrenci Houssam JABIRI Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fethi ERTENLİ
		4	ZEMİN ÇİVİLİ İSTİNAT DUVARLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	İnşaat Mühendisi Tuğçe YILDIZTAŞ Dr. Öğr. Üyesi Kurban ÖNTÜRK Prof. Dr. Sedat SERT
		5	INVESTIGATION OF ATTERBERG LIMITS AND FREEZE–THAW BEHAVIOR OF CLAY SOILS IMPROVED WITH LIQUEFIED PET WASTE	Yük. İnş. Müh. Namenur İBİŞ Dr. Fatih ARTUK Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAİMOĞLU
		6	GEOTECHNICAL ANALYSIS AND MAPPING OF SOIL PROPERTIES USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: A CASE STUDY OF ALTINORDU, ORDU	Taha Emre ZENGİN Prof. Dr. Sıddıka Nilay KESKİN
		7	Current Challenges and Emerging Strategies for Sustainable Ready-Mixed Concrete	Zehra Funda AKBULUT Prof. Dr. Soner Güler
		8	Basic Overview of Concrete Classes and Their Engineering Applications	Zehra Funda AKBULUT Prof. Dr. Soner Güler
			Trend Analysis of Monthly Total Precipitation in Kastamonu, Türkiye	Gamze TUNCER EVCIL Osman SONMEZ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Öğr. Üyesi, Tahire HÜSEYİNLİ**	1	SOCIAL MEDIA INFLUENCERS' IMPACT ON BRAND TRUST: A QUALITATIVE STUDY BASED ON FOLLOWERS' PERCEPTIONS	Shoira KURBONNAZOROVA
		2	ANALYSIS OF HOTEL REVIEWS IN TERMS OF SERVICE QUALITY DIMENSIONS AT LOCAL AND INTERNATIONAL LEVELS	PhD Student Heydar SALAMOV Dr. Lecturer Abdulkadir ŞENCAN
		3	KADIN TÜKETİCİLERİN SATIN ALMA DAVRANIŞLARINDA MAĞAZA ORTAM KOKULARININ ROLÜ: İZMİR İLİ ALIŞVERİŞ MERKEZLERİNDEKİ GİYİM MAĞAZALARINDA YAPILAN BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi, Tahire HÜSEYİNLİ
		4	THE IMPACT OF CONSUMER CONFİDENCE INDEX ON THE DEMAND FOR DURABLE GOODS: A VAR ANALYSİS ON THE TURKİSH CASE	Prof. Dr. Ferhat PEHLİVANOĞLU Doktora Öğrencisi Erhan Haluk ERGÜL
		5	The New Face of Digital Advertising: A Conceptual Overview of Artificial Intelligence Based Marketing Strategies	Öğr. Gör. Dr. Öznur AKTAŞ
		6	ELEKTRONİK ALIŞVERİŞTE YAPAY ZEKA DESTEKLİ UYGULAMALARDA TÜKETİCİ TUTUMLARI VE TEKRAR SATIN ALMA NİYETİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Ayşegül KAYGISIZ Dr.Öğr.Üy. Bilge MEYDAN Prof.Dr. Aydın Kayabaşı
		7	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF VIRTUAL INFLUENCERS IN THE CONTEXT OF INFLUENCER MARKETING	Doç. Dr. Buket BORA SEMİZ YL Öğrencisi Mehmet Kerem HANLI
		8	SOSYAL MEDYA PAZARLAMASINDA YAPAY ZEKA INFLUENCER'LARIN TÜKETİCİ ALGISINA ETKİSİ: FORD & VİRTUALALİN ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Zeynep TÜRK
		9	KURUMSAL İTİBAR KONUSU LİSANSÜSTÜ TEZLERDE NASIL ELE ALINIYOR? BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ	Prof. Dr. Burcu ÖKSÜZ KAYA Doç. Dr. Handan GÜLER İPLİKÇİ
		10	ORGANİK ÜRÜN SÖYLEMİNDE ÇİFTÇİ TEMSİLİ: META FETİŞİZMİ PERSPEKTİFİNDEN SEMİYOTİK BİR İNCELEME	Doç. Dr. Handan GÜLER İPLİKÇİ Prof. Dr. Burcu ÖKSÜZ KAYA

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Sultan GÜÇLÜ**	1	VOLUNTEERING IN SOCIAL WORK: AN ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF SOCIAL SOLIDARITY, EMPOWERMENT, AND SUSTAINABILITY	Prof. Dr. Sultan GÜÇLÜ
		2	ACCESS TO HEALTH SERVICES FOR WOMEN IN RURAL AREAS: GLOBAL TRENDS, THE CASE OF TURKEY, AND AN INTERDISCIPLINARY ASSESSMENT	Prof. Dr. Sultan GÜÇLÜ Asst. Prof. Ayşegül UNUTKAN
		3	YAPAY ZEKA DESTEKLİ MOBİL TANIŞMA UYGULAMALARIYLA TANIŞAN ÇİFTLERİN EVLİLİKTE BAĞLANMA STİLLERİ VE EVLİLİK İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ	Sosyal Hizmet Uzmanı Merve SERT Arş. Gör. Merve İBRAHİMOĞLU Prof. Dr. Ercümend ERSANLI
		4	YETİŞKİN BİLİŞSEL KONTROL VE ESNEKLİĞİ: ALGILANAN EBEVEYN KABUL-REDDİNİN YORDAYICI ROLÜ	Psikolog Asena Begüm ZENGİN Arş. Gör. Merve İBRAHİMOĞLU Prof. Dr. Ercümend ERSANLI
		5	YARGI ALANINDA ÇALIŞAN PSİKO-SOSYAL MESLEK GRUPLARININ KARŞILAŞTIKLARI ZORLUKLAR	Sosyal Çalışmacı Onur BAYDAR
		6	DİJİTALLEŞMENİN ENGELLİ BİREYLERE BAKIM VERENLER AÇISINDAN YERİ VE SOSYAL HİZMET	Doç. Dr. Aslıhan AYKARA
		7	HOW CAN SCHOOL SOCIAL WORK INTERVENTIONS BE IMPLEMENTED TO ADDRESS PEER BULLYING?	Assoc. Prof. Dr. Umut Yanardağ
		8	KAPSAYICI LİDERLİK VE PSİKOLOJİK GÜVEN: KAVRAMSAL BİR MODEL ÖNERİSİ	Öğr. Gör. Seda ÇOLAK Doç. Dr. Yasemin KAYA
			AFET YÖNETİMİNDE HAVALİMANLARININ ROLÜ	Öğr. Gör. Seda ÇOLAK Dr. Öğr. Üyesi Özge ÜSTÜN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Doç.Dr. Muhammed Emre AYHAN**	1	SYNERGISTIC EFFECTS OF SODIUM METABORATE AND GRAPHENE OXIDE COMPOSITES ON SERS PERFORMANCE	Doç.Dr. Muhammed Emre AYHAN
		2	LIFECYCLE MANAGEMENT AND PREVENTIVE MAINTENANCE PLANNING SUPPORTED BY MACHINE LEARNING	Emir KARA Ömer KOÇBİL Doç. Dr. Mustafa NAMDAR Doç. Dr. Arif BAŞGÜMÜŞ
		3	COMPARATIVE ANALYSIS OF LTE NETWORK PERFORMANCE AND SIGNAL QUALITY OF MOBILE OPERATORS IN KUTAHYA	Ömer Furkan YANIK Doç. Dr. Mustafa NAMDAR Doç. Dr. Arif BAŞGÜMÜŞ
		4	ELECTROMAGNETİC CHARACTERİZATİON OF HEALTHY AND CANCEROUS CELLS USİNG A VİVALDİ ANTENNA WİTH A NEAR-FİELD APPROACH: A ΔS_{21}-BASED S-PARAMETER ANALYSİS	Doktora Öğrencisi: Mahammad Isayev Doç. Dr. Seyfettin Sinan Gültekin
		5	KABLOSUZ VÜCUT ALAN AĞI (WBAN) UYGULAMALARI İÇİN KOT KUMAŞ TABANLI GİYİLEBİLİR ANTEN TASARIMI VE DEĞERLENDİRMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Hakan KİŞİOĞLU
		6	ARDUİNO TABANLI KARTLI VE PLAKA TANIMA DESTEKLİ BİR OTOPARK OTOMASYON SİSTEMİ	Öğr. Gör. Büşra TUNÇ Öğrenci, Hamza ÇETİN Öğrenci, Selim DİKBAŞ
		7	DÜŞÜK ATALETLİ ŞEBEKELERDE VSC-HVDC TABANLI AKTİF SÖNÜMLEME YAKLAŞIMI	Özlem Rabia GÜLER Doç. Dr. BEHÇET KOCAMAN
		8	XLPE GÜÇ KABLOLARINDA SAHA ÖLÇÜM VERİLERİNE DAYALI KISMİ DEŞARJ İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ	Mustafa Harun BAL Doç. Dr. Ali AJDER Dr. Öğr. Üyesi Celal Fadıl Kumru
		9	COMPARATIVE ANALYSIS FOR HYPERNUCLEAR MASS DISTRIBUTIONS	Asst. Prof. Dr. Ayşegül ERGUN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Lect. Dr. Yasemin ÇAKIR**	1	EATING DISORDERS IN ADOLESCENCE: RISK FACTORS AND PSYCHOSOCIAL DYNAMICS	Lect. Dr. Yasemin ÇAKIR Assoc. Prof. Dr. Nurullah ÇALIŞ
		2	SCHOOL-BASED INTERVENTIONS WITHIN THE FRAMEWORK OF MULTICULTURALISM: A REVIEW OF PRACTICES FOR REFUGEE CHILDREN	Lect. Dr. Yasemin ÇAKIR Assoc. Prof. Dr. Nurullah ÇALIŞ
		3	TRAVMA YAŞANTISI OLAN GENÇ YETİŞKİNLERİN PSİKOLOJİK ESNEKLİK DÜZEYLERİNİN DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	Sümeyye KAPLAN DOÇ. DR. Seher Merve ERUS
		4	THE MODERATING ROLE OF COPARENTING IN THE RELATIONSHIP BETWEEN PARENT'S SELF-EFFICACY AND PARENTING STRESS	Psychologist Şura Nur ÖZDEMİR
		5	THE MODERATING ROLE OF PERFECTIONISM IN THE RELATIONSHIP BETWEEN THE NEED FOR SOCIAL APPROVAL AND INTOLERANCE OF UNCERTAINTY	Dr. Öğr. Üyesi Reyhan ÇALIŞAN KİNTER Psikolog Ecmel KUTLUĞ
		6	İZLENİM YÖNETİMİNDE ''İDDİACI OLMAK''	Prof. Dr. Fatma Gül CİRHİNLİOĞLU Uzm. Aybike GİRENTE Prof. Dr. Zafer CİRHİNLİOĞLU
		7	ROMANTİK İLİŞKİLERDE MANİPÜLASYON	Prof. Dr. Fatma Gül CİRHİNLİOĞLU Uzm. Aybike GİRENTE
		8	ÜNİVERSİTE ÖĞRENİMİ GÖREN KIZ ÖĞRENCİLERDE SOSYAL GÖRÜNÜŞ KAYGISI VE ÖZGÜVEN DÜZEYİ	Erbaş NURİYE Selver ÖZGÜL
			KADINLARIN ŞİDDETE YÖNELİK TUTUMLARI İLE EVLİLİK UYUMU ARASINDAKİ İLİŞKİ	Dr. Öğr. Üyesi Nuriye ERBAŞ Şeydanur DİKTAŞ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Gültekin Gürçay**	1	HABERMAS'IN İLETİŞİM KURAMI İLE ŞİDDETSİZ İLETİŞİM ARASINDA BİR OKUMA: ORTAKLIKLAR, İMKÂNLAR VE SINIRLILIKLAR	Büke KOYUNCU KAHVECİOĞLU
		2	ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE NÖROÇEŞİTLİLİĞE YÖNELİK TERAPÖTİK MÜDAHALELERİN SAĞLIK SOSYOLOJİSİ ÇERÇEVESİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ	Büke KOYUNCU KAHVECİOĞLU
		3	ALGILANAN PSİKOLOJİK GÜVENLİĞİN ÖRGÜTSEL BAĞLILIK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: SAVUNMA SANAYİ ÇALIŞANLARI ÜZERİNDE BİR ARAŞTIRMA	Yakup TURGUTALP Dr. Öğr. Üyesi Sefa CEYHAN
		4	BAKIM VEREN NESNE İLE İLİŞKİ VE BAĞLANMANIN TRAVMATİK YAS SÜRECİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Yasemin Esra BULUT Doç. Dr. Abdi GÜNGÖR Doç. Dr. Ahmet SAPANCI
		5	Social Media Use and Sleep Quality: A Platform-Based Analysis	Psikolog Sündüs Aslı GÜVEN Dr. Öğr. Üyesi Zehra ERTUĞRUL-YAŞAR
		6	EMOTION MAPPING OF HIKIKOMORI DISCOURSE ON REDDIT: A DUAL- LAYER SEMANTIC AND AFFECTIVE ANALYSIS	Dr. Sezai TUNCA
		7	YAŞAM DOYUMUNUN YORDAYICILARI OLARAK SÜREKLİ UMUT, ÖZ ANLAYIŞ VE MADDİ KAYGININ İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Funda Nur ÇUKUR Dr. Öğr. Üyesi Hacer YILDIRIM KURTULUŞ
		8	FAMILY WELFARE AND DIGITAL RADICALIZATION: INCELS, THE DARKWEB, GENDER-BASED VIOLENCE, AND CHILD SAFETY	Dr.Öğretim Üyesi Emine Ebru BOZÇELİK
			EVLİLİK DOYUMU İLE İLGİLİ YAYINLANAN MAKALELERİN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	Psikolog Şeyma SÖZSOY Doç. Dr. Tuba BAĞATARHAN
			ERGENLERDE SİBER ZORBALIK: SİSTEMATİK GÖZDEN GEÇİRME	Aile Danışmanı Aysel TAŞKIN Doç. Dr. Tuba BAĞATARHAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assoc. Prof. Dr. Ebru KORKMAZ**	1	THE EFFECT OF GEOGEBRA SOFTWARE ON BELIEFS ABOUT GEOMETRIC THINKING HABITS	Assoc. Prof. Dr. Ebru KORKMAZ
		2	GRADUATE STUDENTS' EXPERIENCES WITH PROJECT 2237: AN EVALUATION OF GEOMETRY FIELD KNOWLEDGE, TECHNOLOGY USE, AND GEOMETRIC THINKING	Assoc. Prof. Dr. Ebru KORKMAZ
		3	DIGITAL CITIZENSHIP	Melisa ZANKİ Prof. Dr. Semra BENZER
		4	AI-SUPPORTED LEARNING ENVIRONMENT: GLOBAL CLIMATE CHANGE ASSISTANT APPLICATION WITH PICTOBLOX	Melisa ZANKİ Prof. Dr. Semra BENZER
		5	AN ACTIVITY PROPOSAL ON ETHICAL ISSUES IN THE 'TECHNOLOGY AND LIFE' UNIT OF THE 2024 SECONDARY EDUCATION PHILOSOPHY CURRICULUM	Sinem Sert Ekrem Ziya Duman
		6	2024 FELSEFE DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMI SİYASET FELSEFESİ ÜNİTESİ İÇİN ETKİNLİK ÖNERİSİ: SANAL BELEDİYE MECLİSİ ADALETLİ ŞEHİR TASARIMI	Aybüke KIRCAN Prof. Dr. Ekrem Ziya Duman
		7	TÜRKİYE'DE OKUL YÖNETİCİLERİNİN DİJİTAL DÖNÜŞÜM ALGISI VE UYGULAMALARI	Dr. Yasin DEMİRCİ
		8	KIRSAL VE KENTSEL OKULLARDA AİLE KATILIMININ YÖNETİMİ: KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ	Dr. Yasin DEMİRCİ
			9 TH GRADE SPEAKING SKILLS IN THE TÜRKIYE CENTURY MAARIF MODEL: A QUALITATIVE DOCUMENT ANALYSIS	Ruken KIZILELMA FİDEL ÇAKMAK
			EĞİTİMDE ÖĞRETMENLER TARAFINDAN KULLANILAN YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİNİN FIRSATLARI VE POTANSİYEL RİSKLERİ	Kübra Öztürk Dr. Adem Yurdunkulu

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Doç. Dr. Firdevs SAĞLAM**	1	REFLECTING CREATIVE PRACTICE THROUGH STUDENT OUTCOMES: PURE CINEMA SHORT FILMS	Ersin ERTAN
		2	MİTOLOJİ, DİN VE SANAT ÜÇGENİNDE: BRYAN CROCKETT VE KIKI SMITH'İN SANATINDA ORTAK TEMALAR	Doç. Dr. Firdevs SAĞLAM
		3	KİMLİK, CİNSİYET VE BEDENİN ÇAĞDAŞ SANATTA YENİDEN İNŞASI	Doç. Dr. Firdevs SAĞLAM
		4	PLASTIC READINGS OF THE USE OF WRITING AS A PROPAGANDA ELEMENT IN POSTMODERN PAINTINGS	Dr. Öğretim Üyesi Mavi ÇAKMAKÇI
		5	The Mysterious Source Of Art: Magic, Image And Ritual	Öğr. Gör. Dr. Gamze URAY
		6	A READING ON ENVIRONMENTAL POLICIES IN CONTEMPORARY ART	Assoc. Prof. Dr. Burcu GÜNAY
		7	A SELECTION OF ARTISTS SHOWING A TENDENCY TOWARDS TEXTILES IN CONTEMPORARY ART	Yüksek lisans Öğrencisi Hayriye BIÇAK Doç. Dr. Burcu GÜNAY
		8	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A VISUALIZATION PRACTICE IN INFOGRAPHIC DESIGNS: ALTERNATIVE INFOGRAPHIC DESIGNS OF HUMAN ANATOMY WITH INTERNAL ORGANS	Prof. Dr. Tarık YAZAR Mithat ALADAĞ
			THE USE OF MEDICAL ILLUSTRATIONS IN SURGICAL PRACTICES: BRAIN AND NERVE SURGERY INFOGRAPHIC DESIGN	Prof. Dr. Tarık YAZAR Şeymanur GENİŞ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Dawit Tesfai,**	1	INTERNATIONAL HUMANITARIAN LAW APPLICATIONS IN POST-CONFLICT RECONSTRUCTION LEGAL FRAMEWORKS	Prof. Dr. Olena Kovalenko, Dr. Mykhailo Petrenko, Iryna Sydorenko
		2	CONSTITUTIONAL REFORMS AND CIVIL LIBERTIES PROTECTION DURING ARMED CONFLICTS	Assoc. Prof. Dr. Viktoriya Melnyk, Andriy Shevchenko, Nataliya Bondarenko
		3	REFUGEE LAW CHALLENGES AND BORDER MANAGEMENT IN ERITREAN REGIONAL CONTEXTS	Dr. Dawit Tesfai, Selam Berhe
		4	MARITIME LAW DISPUTES AND FISHERIES GOVERNANCE IN RED SEA TERRITORIAL WATERS	Assis. Prof. Dr. Yonas Gebremichael, Meron Asmerom, Dr. Helen Kahsai
		5	COMPARATIVE ANALYSIS OF ISLAMIC FAMILY LAW AND SECULAR LEGAL SYSTEMS IN ALGERIA	Prof. Dr. Amina Zahir, Karim Belkacem
		6	CONSTITUTIONAL COURT JURISPRUDENCE ON HUMAN RIGHTS LITIGATION IN NORTH AFRICA	Assoc. Prof. Dr. Nadia Cherif, Samir Lounis, Yassine Hadji
		7	SHARIA LAW INTERPRETATIONS IN CONTEMPORARY OMANI COMMERCIAL CONTRACTS	Dr. Ahmed Al-Harthi, Fatima Al-Mansoori
		8	INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL LAW COMPLIANCE IN OMAN'S OIL AND GAS SECTOR	Sultan Al-Busaidi, Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Maskari
		9	OIL AND GAS ARBITRATION UNDER OMANI LAW IN GCC REGIONAL DISPUTES	Prof. Dr. Nasser Al-Rashdi, Dr. Layla Al-Hinai, Tariq Al-Mahrooqi
		10	IRANIAN CYBERSECURITY LEGISLATION AND INTERNATIONAL LAW OBLIGATIONS	Dr. Reza Jafari, Soraya Mahmoudi
		11	COMPARATIVE CYBERCRIME LAWS BETWEEN IRAN AND INTERNATIONAL STANDARDS	Assoc. Prof. Dr. Mohammad Karimi, Fatemeh Hosseini

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Samir Lounis,**	1	MACROECONOMIC STABILITY CHALLENGES AND FISCAL POLICY RESPONSES IN POST-WAR UKRAINE	Prof. Dr. Olena Kovalenko, Dr. Mykhailo Petrenko, Iryna Sydorenko
		2	AGRICULTURAL EXPORT DIVERSIFICATION STRATEGIES FOR ECONOMIC RESILIENCE IN UKRAINE	Assoc. Prof. Dr. Viktor Melnyk, Dr. Natalia Bohdanova
		3	IMPACT OF FOREIGN AID ON ERITREAN NATIONAL DEVELOPMENT PROGRAMS	Dr. Dawit Tesfai, Selam Berhe
		4	PUBLIC DEBT SUSTAINABILITY ANALYSIS IN ERITREA'S CLOSED ECONOMY MODEL	Assis. Prof. Dr. Yonas Haile, Meron Ghebrezgiabher
		5	MONETARY POLICY TRANSMISSION MECHANISMS IN ALGERIAN HYDROCARBON ECONOMIES	Prof. Dr. Karim Belkacem, Dr. Nadia Cherif
		6	TRADE LIBERALIZATION EFFECTS ON ALGERIAN MANUFACTURING SECTOR COMPETITIVENESS	Assoc. Prof. Dr. Samir Lounis, Amira Bouzid
		7	INFLATION DYNAMICS AND CENTRAL BANK INDEPENDENCE IN SUDANESE ECONOMY	Dr. Ahmed El-Sayed, Fatima Hassan, Omar Khalid
		8	MICROFINANCE IMPACT ON RURAL HOUSEHOLD INCOME IN SUDAN	Prof. Dr. Ibrahim Musa, Aisha Abdelrahman
		9	EXCHANGE RATE VOLATILITY AND EXPORT PERFORMANCE IN SUDAN	Dr. Layla Mahmoud, Khalid Rahman, Sara Ali
		10	FISCAL FEDERALISM AND REGIONAL DISPARITY REDUCTION IN SUDAN	Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli, Noor Salem, Bilal Ahmed
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Mykola Petrenko,	1	ADVANCED MACHINING TECHNIQUES FOR HIGH-STRENGTH STEEL ALLOYS IN AEROSPACE COMPONENTS	Prof. Dr. Olena Kovalenko, Dr. Mykola Petrenko, Viktor Symonenko
		2	OPTIMIZATION OF CNC TURNING PROCESSES FOR PRECISION AUTOMOTIVE PARTS MANUFACTURING	Assoc. Prof. Dr. Iryna Bohdanova, Taras Melnyk, Dr. Sofia Lozinska
		3	ULTRASONIC ASSISTED MACHINING OF TITANIUM ALLOYS FOR MEDICAL IMPLANTS	Dawit Gebremichael, Dr. Selam Tekle
		4	ELECTROCHEMICAL MACHINING STRATEGIES FOR COMPLEX GEOMETRIES IN AEROSPACE TURBINES	Assoc. Prof. Dr. Yonas Berhe, Meron Asrat, Dr. Helen Yohannes
		5	WIRE EDM PROCESS IMPROVEMENTS FOR HARDENED TOOL STEEL DIE PRODUCTION	Prof. Dr. Elias Habte, Lina Tesfay
		6	HIGH-SPEED MILLING OPTIMIZATION FOR ALUMINUM AIRCRAFT STRUCTURAL COMPONENTS	Dr. Karim Nassar, Assis. Prof. Dr. Layla Hassan, Rami Khoury
		7	ADDITIVE MANUFACTURING POST-PROCESSING TECHNIQUES FOR METAL 3D PRINTED PARTS	Nour El-Din Mahmoud, Dr. Sara Abou-Zeid, Fadi Saliba
		8	PRECISION GRINDING METHODS FOR OPTICAL LENS MOLDING SURFACES	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Dr. Fatima Ali, Omar Khalil, Nadia Rahman
		9	LASER SURFACE TEXTURING FOR ENHANCED TRIBOLOGICAL PERFORMANCE IN ENGINE PISTONS	Assoc. Prof. Dr. Hassan Ibrahim, Dr. Mariam Siddiq
		10	HYBRID MACHINING PROCESSES FOR CERAMIC MATRIX COMPOSITES IN TURBINE BLADES	Yusra Abdelrahman, Dr. Khalid Osman, Assis. Prof. Dr. Safia El-Tayeb, Amir Hassan
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Sami Khoury,**	1	THE IMPACT OF KYIVAN RUS PRINCIPALITY ON EARLY EASTERN EUROPEAN STATE FORMATION PROCESSES	Prof. Dr. Olena Kovalenko, Dr. Mykhailo Petrenko, Iryna Sydorenko
		2	OTTOMAN INFLUENCES ON 17TH-CENTURY COSSACK DIPLOMACY AND MILITARY ALLIANCES	Assoc. Prof. Dr. Volodymyr Hryhorenko, Taras Shevchenko, Nataliya Bondarenko
		3	COLONIAL ITALIAN ADMINISTRATION POLICIES AND ERITREAN IDENTITY FORMATION 1890-1941	Dr. Selam Tekle, Assis. Prof. Dr. Yonas Berhe
		4	POST-WWII BRITISH MILITARY ADMINISTRATION AND ERITREAN NATIONALIST MOVEMENTS	Meron Haile, Dr. Dawit Asmerom, Fisum Ghebrezgi
		5	FRENCH MANDATE IMPACT ON LEBANESE SECTARIAN POLITICAL STRUCTURES 1920-1943	Prof. Dr. Elias Rahbani, Dr. Nour El-Din
		6	PALESTINIAN REFUGEE INFLUENCES ON LEBANESE CIVIL WAR DYNAMICS 1975-1990	Assoc. Prof. Dr. Sami Khoury, Layla Nassar
		7	BRITISH SUDAN CAMPAIGN STRATEGIES AGAINST MAHDIST FORCES 1880S-1898	Dr. Ahmed El-Sayed, Fatima Hassan
		8	ANGLO-EGYPTIAN CONDOMINIUM POLICIES AND SUDANESE NATIONALIST AWAKENING	Prof. Dr. Omar Khalil, Dr. Mariam Siddig
		9	OTTOMAN LEGACY IN SUDANESE ISLAMIC SCHOLARSHIP AND ARCHITECTURAL PATRONS	Assoc. Prof. Dr. Yusuf Al-Tayib, Layla Ibrahim
		10	MAHDIST STATE ECONOMIC SYSTEMS AND AGRICULTURAL REFORMS IN 19TH-CENTURY SUDAN	Dr. Hassan El-Nour, Assis. Prof. Dr. Safia Ahmed, Khalid Osman
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Ahmed Al-Mansoori**	1	RUSSIAN AVANT-GARDE PAINTING TECHNIQUES AND THEIR INFLUENCE ON MODERN ABSTRACT EXPRESSIONISM	Prof. Dr. Elena Petrova, Dr. Sergei Ivanov, Anna Kuznetsova
		2	ICONOGRAPHIC SYMBOLISM IN 19TH-CENTURY RUSSIAN REALIST LANDSCAPE PAINTINGS	Assoc. Prof. Dr. Mikhail Volkov, Olga Smirnova, Dmitri Fedorov
		3	CZECH CUBIST ARCHITECTURE AND URBAN SPACE TRANSFORMATION IN PRAGUE	Dr. Jana Novakova, Tomas Kral
		4	POST-WAR SURREALIST MOVEMENTS AND SCULPTURAL INNOVATIONS IN CZECH ART	Prof. Dr. Petr Svoboda, Klara Dvorakova, Lukas Hruska
		5	LEBANESE CALLIGRAPHY EVOLUTION THROUGH CONTEMPORARY ARABIC TYPOGRAPHY	Assoc. Prof. Dr. Layla Hassan, Dr. Karim El-Sayed
		6	PHoenICIAN MOTIFS IN MODERN LEBANESE CONTEMPORARY PAINTING TRADITIONS	Rami Abou Nasr, Assis. Prof. Dr. Nadia Fares, Samir Younes
		7	YEMENI TRADITIONAL TATTOO ARTISTRY AND CULTURAL IDENTITY PRESERVATION	Prof. Dr. Ahmed Al-Mansoori, Fatima Saleh
		8	WAR-TORN YEMENI STREET ART AS RESISTANCE AND SOCIAL COMMENTARY	Dr. Hassan Qasem, Noor Al-Hamdani, Yusuf Bahran
		9	SANAA WOODCARVING TECHNIQUES IN CONTEMPORARY YEMENI FURNITURE DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Salem Al-Ghurbani, Mariam Thabit
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assis. Prof. Dr. Nadia Fares,**	1	URBAN MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION CHALLENGES IN POST-SOVIET KAZAKHSTAN	Prof. Dr. Aigerim Nurlanova, Dr. Yerzhan Tolegenov, Aidana Kassenova
		2	ETHNIC IDENTITY FORMATION AMONG MULTIGENERATIONAL KAZAKH FAMILIES IN ALMATY	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Ruslan Zhumatov, Dina Sarsenbayeva
		3	GLOBALIZATION EFFECTS ON TRADITIONAL FAMILY STRUCTURES IN CZECH RURAL COMMUNITIES	Dr. Petr Novak, Klara Svobodova, Martin Dvorak
		4	SOCIAL MOBILITY BARRIERS FOR ROMA MINORITIES IN CONTEMPORARY CZECH SOCIETY	Assoc. Prof. Dr. Jana Horakova, Tomas Kral
		5	SECTARIAN CONFLICT DYNAMICS AND URBAN SEGREGATION IN POST-WAR BEIRUT	Prof. Dr. Rania Saliba, Dr. Elias Harb, Maya Nassar
		6	GENDER ROLES EVOLUTION AMONG LEBANESE DIASPORA COMMUNITIES IN EUROPE	Assis. Prof. Dr. Nadia Fares, Sami Hayek
		7	TRIBAL LOYALTY SYSTEMS VERSUS MODERN STATE FORMATION IN YEMENI SOCIETY	Dr. Ahmed Al-Mansoori, Faisal Rahman
		8	WATER SCARCITY AND INTER-TRIBAL CONFLICT ESCALATION IN YEMENI RURAL AREAS	Assoc. Prof. Dr. Huda Alawi, Khalid Saeed, Noor Al-Hadhrami
		9	YOUTH RADICALIZATION PROCESSES IN YEMEN'S CONFLICT-ZONES	Prof. Dr. Salem Qasem, Dr. Lubna Hadrami
		10	WOMEN'S SOCIAL NETWORKS AND RESILIENCE STRATEGIES DURING YEMEN CIVIL WAR	Fatima Al-Zarqa, Assis. Prof. Dr. Tariq Bin Laden, Aisha Mohammed
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva,**	1	POST-SOVIET IDENTITY FORMATION IN KAZAKH LITERATURE THROUGH NOMADIC MOTIFS	Prof. Dr. Aigerim Tolegenova, Dr. Yerzhan Kassenov, Aidana Zhumaliyeva
		2	FEMINIST VOICES IN CONTEMPORARY KAZAKHSTANI NOVELS ADDRESSING PATRIARCHAL TRADITIONS	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Nurlan Bekbolatov, Dina Sarsenbayeva
		3	CZECH SURREALISM'S INFLUENCE ON POST-COMMUNIST NARRATIVE EXPERIMENTATION	Dr. Petr Novak, Klara Svobodova
		4	KAFLKA'S LEGACY IN CONTEMPORARY CZECH GRAPHIC NOVELS AND URBAN ALIENATION THEMES	Assoc. Prof. Dr. Jana Horakova, Tomas Kral, Eva Dvorakova
		5	ARABIC POETRY TRADITIONS AND LEBANESE CIVIL WAR TRAUMA REPRESENTATIONS	Prof. Dr. Layla Harb, Dr. Sami Nader, Nour El-Khoury
		6	POSTCOLONIAL DISCOURSE IN LEBANESE DIASPORIC LITERATURE ACROSS MULTILINGUAL CONTEXTS	Assis. Prof. Dr. Rima Saliba, Elias Mitri
		7	YEMENI FOLK TALES ADAPTATION IN MODERN PROSE ADDRESSING CONFLICT AND RESILIENCE	Dr. Ahmed Al-Thawr, Fatima Saleh
		8	MAGICAL REALISM TECHNIQUES IN CONTEMPORARY YEMENI SHORT FICTION	Assoc. Prof. Dr. Khaled Bahran, Mariam Qasim, Hassan Alawi
		9	ORAL STORYTELLING TRADITIONS EVOLUTION IN YEMENI CONTEMPORARY POETRY	Prof. Dr. Yusuf Al-Amri, Dr. Lina Harb
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Aizhan Kairatova,**	1	EXISTENTIAL PHILOSOPHY AND POST-SOVIET IDENTITY FORMATION IN KAZAKHSTANI SOCIETY	Prof. Dr. Almaz Tolegenov, Dr. Aizhan Kairatova, Yerzhan Nurlan
		2	NOMADIC EPISTEMOLOGY AND MODERN KAZAKH CONCEPTIONS OF KNOWLEDGE ACQUISITION	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Sarsenova, Ruslan Bekbolatov, Dina Abayeva
		3	ALBANIAN NATIONALISM THROUGH THE LENS OF HEGELIAN DIALECTICAL PROCESSES	Dr. Liridon Hoxha, Eralda Meta, Prof. Dr. Besnik Sulaj
		4	POST-COMMUNIST ETHICS AND MORAL RECONSTRUCTION IN ALBANIAN PHILOSOPHICAL DISCOURSE	Assis. Prof. Dr. Anila Deda, Klevis Bega
		5	ISLAMIC PHILOSOPHY AND SUFISM IN CONTEMPORARY SUDANESE INTELLECTUAL TRADITIONS	Prof. Dr. Ahmed El-Sadig, Dr. Fatima Nur, Omar Khalid
		6	AFRICAN UBUNTU ETHICS VERSUS WESTERN INDIVIDUALISM IN SUDANESE MORAL PHILOSOPHY	Assoc. Prof. Dr. Hassan Al-Mahdi, Safa Ibrahim, Dr. Yassir Gumaa
		7	CONFUCIAN VIRTUE ETHICS ADAPTATION IN VIETNAMESE EDUCATIONAL PHILOSOPHY	Nguyen Thi Lan, Prof. Dr. Tran Van Minh, Le Hoang Anh
		8	EXISTENTIALISM AND BUDDHIST NON-SELF DOCTRINE IN VIETNAMESE METAPHYSICAL THOUGHT	Dr. Pham Quoc Hung, Vo Thi Mai, Assoc. Prof. Dr. Doan Van Tuan
		9	MARXIST DIALECTICS AND VIETNAMESE REVOLUTIONARY AESTHETICS IN MODERN CONTEXT	Assis. Prof. Dr. Hoang Thi Nga, Nguyen Duc Linh, Bui Kim Chi
		10	PHENOMENOLOGICAL ANALYSIS OF VIETNAMESE RURAL CONSCIOUSNESS AND URBAN TRANSITION	Dr. Le Thi Thu, Tran Minh Duc, Prof. Dr. Vuong Thi Huong
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Prof. Dr. Liriana Kuci**	1	PSYCHOLOGICAL IMPACTS OF URBAN MIGRATION ON FAMILY DYNAMICS IN KAZAKHSTANI CITIES	Prof. Dr. Aigerim Sarsenova, Dr. Yerzhan Kudaibergenov, Aidana Tolegenova
		2	EFFECTS OF SOCIAL MEDIA ADDICTION ON ACADEMIC PERFORMANCE AMONG KAZAKHSTANI UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abilkair, Nurlan Bekbolatov, Dina Sarsenbayeva
		3	CULTURAL TRAUMA AND IDENTITY FORMATION IN POST-COMMUNIST ALBANIAN YOUTH	Dr. Eralda Lame, Assis. Prof. Dr. Besnik Hoxha
		4	WORKPLACE STRESS AND BURNOUT PREVALENCE AMONG ALBANIAN HEALTHCARE PROFESSIONALS	Prof. Dr. Liriana Kuci, Fatmir Deda, Anila Godo
		5	POST-TRAUMATIC STRESS DISORDER PREVALENCE AMONG SUDANESE CONFLICT SURVIVORS	Dr. Amal Hassan, Khalid Mohammed, Sara Ahmed
		6	PARENTING STYLES AND CHILD DEVELOPMENT OUTCOMES IN SUDANESE RURAL COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Fatima El-Sayed, Omar Abdelrahman
		7	MINDfulness INTERVENTIONS FOR ANXIETY REDUCTION AMONG VIETNAMESE UNIVERSITY STUDENTS	Prof. Dr. Nguyen Thi Lan, Dr. Tran Minh Hoang, Lan Anh Nguyen
		8	INTERGENERATIONAL TRAUMA EFFECTS ON MENTAL HEALTH IN VIETNAMESE FAMILIES	Dr. Pham Van Duc, Assis. Prof. Dr. Le Thi Mai
		9	DIGITAL ADDICTION AND SLEEP PATTERNS AMONG VIETNAMESE ADOLESCENTS	Assoc. Prof. Dr. Hoang Van Tuan, Nguyen Thi Hien, Vu Minh Quang
		10	RESILIENCE FACTORS IN VIETNAMESE MIGRANT WORKERS FACING LABOR EXPLOITATION	Dr. Le Ngoc Thuy, Prof. Dr. Bui Anh Tuan, Tran Thi Kim, Hoang Minh
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 13:30 – 15:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Dr. Besnik Hoxha,**	1	IMPACT OF PHYSICAL EDUCATION PROGRAMS ON ACADEMIC PERFORMANCE AMONG IRAQI HIGH SCHOOL STUDENTS	Prof. Dr. Ahmed Al-Samarrai, Dr. Fatima Hassan, Omar Khalid
		2	EFFECTS OF TEAM SPORTS PARTICIPATION ON SOCIAL SKILLS DEVELOPMENT IN IRAQI UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Layla Mahmoud, Karim Nasser, Zainab Ali
		3	ROLE OF TRADITIONAL MARTIAL ARTS IN PHYSICAL EDUCATION CURRICULA FOR ALBANIAN YOUTH	Dr. Besnik Hoxha, Enea Deda
		4	INFLUENCE OF OUTDOOR ADVENTURE ACTIVITIES ON STUDENT MOTIVATION IN ALBANIAN SCHOOLS	Assis. Prof. Dr. Anila Hoxhaj, Dr. Erion Gega, Mira Lleshi
		5	ASSESSING THE IMPACT OF SPORTS PROGRAMS ON NUTRITIONAL AWARENESS AMONG SUDANESE ADOLESCENTS	Prof. Dr. Mustafa Osman, Sara Ahmed, Khalid El-Sayed
		6	EFFECTIVENESS OF PHYSICAL ACTIVITY INTERVENTIONS FOR IMPROVING CONCENTRATION IN SUDANESE PRIMARY SCHOOLS	Dr. Amina Khalil, Assoc. Prof. Dr. Hassan Ibrahim, Noor Hassan
		7	DEVELOPMENT OF SWIMMING EDUCATION PROGRAMS FOR VIETNAMESE RURAL SCHOOL CHILDREN	Nguyen Van Hai, Tran Thi Lan, Dr. Le Minh Duc
		8	INTEGRATION OF TRADITIONAL VIETNAMESE GAMES INTO MODERN PHYSICAL EDUCATION CURRICULA	Prof. Dr. Pham Thi Hong, Vo Van Truong, Nguyen Thi Mai
		9	EFFECTS OF AEROBIC EXERCISE ON COGNITIVE FUNCTION AMONG VIETNAMESE UNIVERSITY ATHLETES	Assoc. Prof. Dr. Hoang Van Nam, Le Thi Thu, Dr. Bui Quang Vinh
		10	ROLE OF SPORTS COACHING IN LEADERSHIP SKILL DEVELOPMENT FOR VIETNAMESE HIGH SCHOOL STUDENTS	Assis. Prof. Dr. Do Thi Hanh, Nguyen Van Long, Tran Minh Tuan, Pham Thi Nga
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Asst. Prof. Meltem GÖKSEL KABALCI**	1	THE VISIBILITY OF ECO-COSMOLOGICAL THINKING IN CONTEMPORARY ART	Dr. Melike SUBAŞI
		2	THE WHEEL OF FORTUNE MOTIF IN TURKISH CARPET ART	Asst. Prof. Meltem GÖKSEL KABALCI
		3	HALI SANATINA ALTERNATİF ARAYIŞLAR BAĞLAMINDA: TAFTİNG HALILAR	Oğuzhan KABALCI
		4	GÖRSEL SANATLAR EĞİTİMİNDE ATIK ve KAVRAMSAL SANAT	Dr. Öğr. Üyesi Tuğba ÇELEBİ Nuran FİGEN
		5	CONTEMPORARY APPROACHES İN WEDDİNG RİNG DESİGNS	Öğretim Görevlisi Müjgan Emre
		6	Yasumasa Morimura Örneğinde Temellük Sanatı ve Anakronik Temsil	Dr. Öğr. Üyesi Aysun CANCAN Yüksek Lisans Öğrencisi Ahu Gaye EREN
		7	THE REFLECTİON OF KARA MEMİ'S UNDERSTANDİNG OF RULELESS	Doç. Mine DİLBER
		8	BİLİM KURGU SİNEMASINDA İÇ MEKÂN TASARIMI VE UZAY: 2001: A SPACE ODYSSEY ÖRNEĞİ	Doç.Dr. ÇAĞRI YALÇIN Doç.ELİF ÖZDOĞLAR
		9	ÇAĞDAŞ MEKÂN TASARIMINDA KİNETİK MEKÂN KAVRAMI: ES DEVLİN ÜZERİNDEN BİR İNCELEME	Doç.Dr. ÇAĞRI YALÇIN Doç.ELİF ÖZDOĞLAR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğr. Üyesi, İsa UĞUR**	1	COĞRAFİ İŞARETİN GÖRÜNMEYEN YÜZÜ: OLUMSUZ ETKİLER ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Oya ÖZKANLI Arş. Gör. Çağlar BAYAR
		2	MODERN GASTRONOMİDE ANTİK TAHILLARIN ROLÜ VE UYGULAMA ALANLARI	Doç. Dr. Hatice PEKMEZ Arş. Gör. Çağlar BAYAR
		3	SOME OF OUR CULTURAL ASSETS RECOVERED IN OUR MUSEUMS AND THE ROLE OF OUR COUNTRY	Nevin EYİDOĞAN
		4	GASTRONOMİ VE DİJİTALLEŞME KONULU AKADEMİK YAYINLARIN TR DİZİN KAPSAMINDA BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	Öğretim Görevlisi Meryem SET
		5	GÜNCEL BİR YAKLAŞIM OLARAK “FOOD PAIRING” AKIMI	Doç. Dr., İrfan YURT Dr. Öğr. Üyesi, İsa UĞUR
		6	SÜRDÜRÜLEBİLİR RESTORANLARDA YEREL ÜRÜN VE COĞRAFİ İŞARETLERİN ROLÜ: BİBLİYOMETRİK BİR HARİTALAMA	Doç.Dr., İrfan YURT Muhammet HASAN Dr.Öğr.Üyesi, İsa UĞUR
		7	DİJİTAL ÇAĞDA VERİ HÂKİMİYETİ: OTORİTER İLETİŞİM ORTAMLARININ YÜKSELİŞİ VE DİJİTAL DİKTATÖRLÜK	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GAZİ
		8	SENTETİK MAĞDURİYET: YAPAY ZEKÂ TEMELLİ YARDIM GÖRSELLERİNDE AŞIRILAŞTIRILMIŞ TEMSİL VE VİCDAN DÖNGÜSÜ	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GAZİ

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Doç. Dr. Gökhan ÇAKIR**	1	UEFA ŞAMPİYONLAR LİGİ'NİN ÜLKELERE GÖRE ANALİZİ	Doç. Dr. Erdal ARI Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÇETİNDEMİR
		2	TÜRK FUTBOL KULÜPLERİNİN UEFA PERFORMANSI	Doç. Dr. Erdal ARI Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÇETİNDEMİR Kıymet UZUNER
		3	AN INVESTIGATION OF TEACHER CANDIDATES' 21ST CENTURY SKILLS AND LIFELONG LEARNING TENDENCIES	Kenan KOÇ Mustafa Soner YÜCE
		4	SCIENTIFIC RESEARCH ATTITUDES AND CAREER AWARENESS IN SPORT SCIENCES: A NARRATIVE REVIEW	Doç. Dr. Gökhan ÇAKIR
		5	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNDE SPORA BAĞLILIKLARININ ARAŞTIRILMASI	Gamze TEMEL Doç. Dr. Egemen ERMİŞ Prof. Dr. Osman İMAMOĞLU
		6	SPOR YAPMA DAVRANIŞ AŞAMALARINA GÖRE ÜNİVERSİTELİ ÖĞRENCİLERDE BESLENME DURUMLARI	Gamze TEMEL Doç. Dr. Egemen ERMİŞ Prof. Dr. Osman İMAMOĞLU
		7	CULTURAL IMPORTANCE OF TRADITIONAL SPORTS	Prof. Dr. Tamer KARADEMİR Gözde DUMAN
		8	INVESTIGATION OF EXERCISE ADDICTION LEVELS OF INDIVIDUALS ENGAGED IN PILATES AND FITNESS IN PRIVATE SPORTS CENTERS	Prof. Dr. Tamer KARADEMİR Gözde DUMAN
			SERUM MMP 2, MMP 9 LEVELS AND EXERCİSE: A META-ANALYSİS	Salih ÖNER Emine BÜYÜKKAYA Beyza ERTAN
			SERUM KYNURENE, TRYPTOPHAN, SEROTONIN LEVELS AND EXERCİSE: A META-ANALYSİS	Salih ÖNER İslam TARANDİR Ökkeş DERELİ
			SPOR LİSESİ ÖĞRENCİLERİNİN ALGILANAN STRES DÜZEYLERİNİN DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	Yükseklisans Öğrencisi Döne ÖKTEM Dr. Öğr. Üyesi Demet ÖZTÜRK ÇELİK

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Öğretim Üyesi Zeynep KURNAZ Dr. Öğretim Üyesi Özkan ÖZTÜRK**	1	YAŞLILIĞIN TEKİLLEŞMESİ: DEMOGRAFİK DÖNÜŞÜM VE AKTİF YAŞLANMA BAĞLAMINDA TEK BAŞINA YAŞAM (SOLO LİVİNG)	Dr. Öğretim Üyesi Zeynep KURNAZ Dr. Öğretim Üyesi Özkan ÖZTÜRK
		2	ÇEVRECİ SİYASETİN NORMATİF UFKU: DEMOKRASİ, EKOLOJİK YURTTAŞLIK VE ÇEVRESEL ADALET	Dr. Öğretim Üyesi Özkan ÖZTÜRK Dr. Öğretim Üyesi Zeynep KURNAZ
		3	BİR MEKÂNSAL PRATİK OLARAK MÜDAVİMLİK	Dr. Ezgi KARMAZ
		4	GÜNDELİK HAYAT: SIRADAN OLANIN BİLİMSELLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE	Dr. Ezgi KARMAZ
		5	Toplumsal Kutuplaşma ve Oyun: Riskler ve Avantajlar	Öğr. Gör. Dr. Mert EREKMEKÇİ
		6	İŞGÜCÜ PİYASASI KONUMLANMASI VE SOSYAL GÜVENCE AÇIĞI: GÖÇMENLER ÜZERİNE AVRUPA ÜLKELERİNDE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ	Prof. Dr. Mehmet DURUEL Mehmet MUTLU
		7	GÖÇMENLERİN SOSYAL GÜVENCEYE ERİŞİMİNDE KURUMSAL EŞİTSİZLİKLER: OECD–EU-SILC AÇIK VERİLERİYLE ÇOK DÜZEYLİ BİR ANALİZ	Prof. Dr. Mehmet DURUEL Mehmet MUTLU
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Doç. Dr. Selin BİTİRİM OKMEYDAN**	1	YAPAY ZEKA HABERLERİNDE KULLANILAN FOBİK TEMSİL: TRT HABER VE BİRGÜN ÖRNEĞİ	Arş. Gör. Aleyna ÖNAL Prof. Dr. Gülsüm ÇALIŞIR
		2	Disaster Communication Literature on Civil Society and Social Media: A Literature Review on the 6 February 2023 Earthquakes	Öğr. Gör. Yasemin MERİÇ Prof. Dr. Gülsüm ÇALIŞIR
		3	SOSYAL MEDYADA İÇERİK ÜRETİMİ İLE DİJİTAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK FARKINDALIĞI	Dr. Öğr. Üyesi Saadet UĞURLU Nisa KÖRÜKÇÜ Celalettin AKTAŞ Ahmet Onur DAĞCI Osman AYTEKİN Yakup YENER Batuhan AKBAŞ Mahmut Cihan TOKER
		4	ÇOCUKLARDA TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞI TEMALI KAMU SPOTU: YEŞİLAY ÖRNEĞİ	Doç. Dr. Fikriye ÇELİK Dr. Öğr. Gör. Mustafa GÜLSÜN
		5	TRANSHÜMANİST DÜŞÜNCENİN SİNEMASAL TEMSİLİ: I AM MOTHER FİLMİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Gör. Mustafa GÜLSÜN Doç. Dr. Fikriye ÇELİK
		6	SHARENTING AND THE FAMILY'S ROLE IN THE CONSTRUCTION OF DIGITAL IDENTITY	Doç. Dr. Tülay YAZICI
		7	YENİ MEDYA ÇAĞINDA GÜNDELİK HAYAT EŞLİKÇİSİ OLARAK YOUTUBE EKRANI VE ESKİ YERLİ DİZİLER: AVRUPA YAKASI ÖRNEĞİ	Nisa YILDIRIM
		8	TÜRKİYE ULUSAL BASININDA İKLİM KRİZİNİN HABER BAŞLIKLARI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ	Öğr. Gör. Dr. Bahar BALCI AYDOĞAN
			EXAMPLES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE–FOCUSED STRATEGIES IN NEXT-GENERATION MARKETING	Doç. Dr. Selin BİTİRİM OKMEYDAN
			DIMENSIONS AND APPLICATION AREAS OF EXPERIENTIAL MARKETING	Doç. Dr. Selin BİTİRİM OKMEYDAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN**	1	NEGATIVE EFFECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE USE ON ACADEMIC AND PERSONAL DEVELOPMENT	Prof. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN
		2	ANALYSIS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE USE AND ACADEMIC ETHICAL PERCEPTION AMONG ENGINEERING STUDENTS	Prof. Dr. Yusuf Sait TÜRKAN
		3	CULTURAL ANALYSIS OF TURKISH SERIES BROADCAST IN RUSSIA IN PSYCHOLOGICAL AND SOCIOLOGICAL CONTEXT: THE EXAMPLE OF MUHTEŞEM YÜZYIL AND YALI ÇAPKINI	Yüksek Lisans Öğrencisi Deniz Rzaeva
		4	A CRITICAL EVALUATION OF THE INSTRUMENTALIZATION OF CULTURE IN THE DISCOURSE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT	Özlem ÖRÇEN
		5	Eleştirel Söylem Analizi Bağlamında Haber Metinlerinin İncelenmesi: 31 Mart 2024 Yerel Seçimleri Örneği	Serdar BİLİCİ Doç. Dr. Ahmet GÜNEŞ
		6	BAĞIMSIZ SİNEMANIN DAĞITIM SERÜVENİ: ANA AKIM SİNEMA KARŞISINDA ALTERNATİF ARAYIŞLAR	Doç. Dr. Erdinç Yılmaz
		7	CRISIS COMMUNICATION ON SOCIAL MEDIA: A QUANTITATIVE ANALYSIS OF X COMMENTS ON THE SHIFTDELETE.NET CASE	Oğuzhan SAYLAR Doç. Dr. İhsan TÜRKAL
		8	ERGENLİK DÖNEMİNDEKİ BİREYLERİN SOSYAL MEDYADA BİLGİYİ DEĞERLENDİRME BİÇİMLERİ: FENOMENOLOJİK BİR ARAŞTIRMA	Ece YILDIRIM Doç. Dr. Mustafa CINGI
			THE HOMME FATALE IN TURKISH CINEMA: AN ANALYSIS WITHIN THE FRAMEWORK OF NURİ ALÇO AND FARUK PEKER	Doç. Dr. M. Özer ÖZKANTAR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Prof. Dr. CANAN NAKİBOĞLU**	1	DIGITALIZATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION	Doç. Dr. Celalettin KORKMAZ Prof. Dr. İmam Bakır ARABACI
		2	SCHOOL LEADERSHIP IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ALGORITHMIC LEADERSHIP	Prof. Dr. İmam Bakır ARABACI Doç. Dr. Celalettin KORKMAZ
		3	DEVELOPMENT OF AN ANALYTIC RUBRIC FOR EVALUATING CHEMISTRY COURSE PUZZLES AND ASSESSING OF THE PUZZLES PREPARED BY PRE-SERVICE CHEMISTRY TEACHERS	Prof. Dr. CANAN NAKİBOĞLU
		4	PRE-SERVICE CHEMISTRY TEACHERS' PRE-INSTRUCTION LEVELS OF UNDERSTANDING AND EXEMPLIFICATION REGARDING RENEWABLE ENERGY AND ITS SOURCES	Prof. Dr. CANAN NAKİBOĞLU Prof. Dr. NURİ NAKİBOĞLU
		5	AN EVALUATION OF VISUAL ARTS EDUCATION FOR STUDENTS AGED 8-15 WITH DOWN SYNDROME: INSIGHTS FROM TEACHER PERSPECTIVES	Doç. Dr. Tülay GÜMÜŞER YL Öğrenci Hatice Merve ÖZASLAN
		6	PARENTEL PERSPECTIVES ON THE EVALUATION OF VISUAL ARTS FOR STUDENTS WTIH DOWN SYNDROME AGED 8-15	Doç. Dr. Tülay GÜMÜŞER YL Öğrenci Hatice Merve ÖZASLAN
		7	SOSYAL- DUYGUSAL ÖĞRENME BECERİLERİ BAĞLAMINDA 6. SINIF TÜRKÇE DERS KİTABININ İNCELENMESİ	Mehmet Furkan DEDE Doç. Dr. Bilal ŞİMŞEK Doç. Dr. Bekir DİREKCİ Arş. Gör. Dr. Betül KOPARAN
		8	6. SINIF TÜRKÇE DERS KİTABININ OKURYAZARLIK BECERİLERİ BAĞLAMINDA İNCELENMESİ	Ceren ÜSTÜN Doç. Dr. Bilal ŞİMŞEK Doç. Dr. Bekir DİREKCİ Arş. Gör. Dr. Betül KOPARAN
			ÖZEL GEREKSİNİMLİ ÇOCUĞU OLAN ANNELERİN İYİ OLUŞLARINA YÖNELİK DENEYSEL BİR ÇALIŞMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa Baki Ulutaşlı Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Fatih Yılmaz
			SPECIAL EDUCATION TEACHERS' VIEWS ON INDIVIDUALIZED EDUCATION PROGRAM PROCESSES	Elif ONUR KÖSE

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 23 - 29, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr. Mehmet Baki BİLİK**	1	THE IMPORTANCE OF RİSK MANAGEMENT AND VULNERABİLİTY IN DİSASTERS	Doç. Dr. Mehmet Baki BİLİK
		2	ETHICAL STANDARDS IN DISASTER MANAGEMENT AND THEIR IMPORTANCE IN PRACTICE	Doç. Dr. Mehmet Baki BİLİK
		3	KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ SOSYAL HİZMET BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN ALGILANAN AFET RİSK DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	Hilal Narin
		4	SOSYAL HİZMET ALANINDA ÇALIŞAN MESLEK ELEMANLARININ ROL ÇATIŞMASI YAŞAMA DURUMLARININ İNCELENMESİ: İZMİT İLÇESİ ÖRNEĞİ	Sosyal Hizmet Uzmanı – Hilal KANDAZ YILDIZ
		5	AFETLERDE DEZAVANTAJLI GRUPLAR: KADINLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLER VE HALK SAĞLIĞI HEMŞİRELİĞİ PERSPEKTİFİ	Doç. Dr. Sonay BİLGİN Öğr. Gör. Dr. Selen ÖZDEMİR
		6	ADLİ SİSTEME DAHİL OLAN ÇOCUKLARIN, ADLİ SÜREÇTE GÖZLEMLENEN DENEYİMLERİNİN ADLİYEDE GÖREV YAPAN PSİKOSOSYAL DESTEK ELEMANLARI TARAFINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	Simge ŞİRET
		7	TÜRKİYE'DE KAZALAR, CİNAYET/SALDIRI VE İNTİHAR KAYNAKLI ÖLÜMLERİN CİNSİYETE GÖRE DAĞILIMI (2018–2024)	Arş. Gör. Sümeyra SEZER KAPLAN

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Prof. Dr. Ünal İMİK Öğr. Gör. Aykut Alp TETİK**	1	HACI TASAN'S ARTISTIC PERSONALITY AND CONTRIBUTIONS TO TURKISH FOLK MUSIC	Prof. Dr. Ünal İMİK Öğr. Gör. Aykut Alp TETİK
		2	EROL PARLAK'S ARTISTIC PERSONALITY AND HIS CONTRIBUTIONS TO THE TRT TURKISH FOLK MUSIC BROKEN REPERTOIRE	Öğr.Grv. Aykut Alp Tetik Prof. Dr. Ünal İMİK
		3	CARL JOACHİM ANDERSEN'İN OP.41 NO.7 ETÜDÜNÜN FLÜT EĞİTİMİ BAĞLAMINDA TEKNİK VE BİÇİMSEL ANALİZİ	Lara Nil KARCIK Dr. Öğr. Üyesi Ezgi ERTEK BABAÇ Dr. Öğr. Muzaffer Soner YILMAZ
		4	ORTAOKUL DÜZEYİNDE PİYANO EĞİTİMİNİN ELEŞTİREL DÜŞÜNME BECERİLERİNE KATKISI	Yüksek Lisans Öğrencisi Yunus Emre AÇIKGÖZ Doç. Dr. Verda KARAÇİL CERİT
		5	PİYANO EŞLİKÇİLİĞİNİN ÖNEMİ VE TARİHSEL GELİŞİMİ	Can HACIOĞLU Prof. Dr. Zeynep Ebru AYATA
		6	Güfte Mecmualarından Örneklerle Osmanlı'da Bir Kadın Bestekar: Dilhayat	Ceren KARTAL Doç.Dr. Şeyma ERSOY ÇAK
		7		
		8		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Doç. Dr. Demet DÖNMEZ**	1	KAMU İHALE PİYASALARINDA REKABET VE ŞEFFAFLIK: AVRUPA TED AÇIK İHALE İLANLARIYLA ÜLKE DÜZEYİNDE SATIN ALMA PERFORMANSI ANALİZİ	Doç. Dr. Demet DÖNMEZ
		2	YÖNETSEL KAPASİTE KAMU HİZMET ÇIKTILARINI İYİLEŞTİRİR Mİ? DÜNYA BANKASI WGI–WDI AÇIK VERİLERİYLE PANEL VERİ ANALİZİ (1996–2024)	Doç. Dr. Demet DÖNMEZ
		3	KAMU GÖREVLİLERİ ETİK KURULUNUN PERSONEL SİSTEMİNDEKİ DENETİM MEKANİZMASINA OLASI ETKİLERİ	Rukiye DEVELİ TAŞ Doç. Dr. Hava TAHTALIOĞLU
		4	AB BÜTÇESİNDE DOĞRUDAN YÖNETİLEN FONLARDA YARARLANICI YOĞUNLAŞMASI VE KURUMSAL ERİŞİM: FTS–ŞEFFAFLIK SİCİLİ–KOMİSYON GÖRÜŞMELERİ VERİLERİYLE DİNAMİK AĞ ANALİZİ	Doç. Dr. Soner AKIN
		5	AB DÜZENLEYİCİ YÖNETİŞİM: DSA KAPSAMINDA PLATFORMLARIN “UYUM DAVRANIŞI” ANALİTİĞİ	Doç. Dr. Soner AKIN
		6	BÖLGESEL VE YEREL KALKINMADA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ROLÜ	Günay GÖNÜLLÜ Ç. Ozan GÖNÜLLÜ
		7	YEŞİL ŞEHİR POLİTİKALARI VE YEREL YÖNETİMLERİN ROLÜ: DÜNYA VE TÜRKİYE ÜZERİNE BİR ANALİZ	Doç. Dr. Makbule ŞİRİNER ÖNVER Doç. Dr. Günay GÖNÜLLÜ
		8	TÜRKİYE’NİN AFET RİSK PROFİLİNİN KAMU YÖNETİMİ PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Galip USTA Dr. Öğr. Üyesi Ezgi ATALAY
		9	The Politicization of Urban Space: The Diplomatic Utilization of “City Space” at the Intersection of Domestic and Foreign Policy	Aslıhan ÇİÇEK Dr. Öğr. Üyesi ALİ ÇİÇEK
		10	SOSYAL BELEDİYECİLİK ve YEREL YÖNETİMLER	Doç.Dr.İsmail GÜNEŞ Batuhan İNALTEKİN
		11	TÜRKİYE VE AZERBEYCAN AİLE VE SOSYAL POLİTİKALAR BAKANLIĞININ FAALİYETLERİNİN VE POLİTİKALARININ WEB SAYFASI İÇERİĞİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI	Mansur Mehdiyev

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:00 – 18:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Asst. Prof. Dr. Derya YÜCEL**	1	THE POWER OF SOCIAL MEDIA IN DIGITAL ENTREPRENEURSHIP	Dr. Meftun Deniz Prof. Dr. Seyhun Doğan
		2	ANTI-SOCIAL WORKING HOURS	Assistant Professor Yusuf Erdem TUNÇ
		3	FAMILY-BASED CARE POLICIES	Assistant Professor Yusuf Erdem TUNÇ
		4	THE EFFECTS OF EXPERİMENTAL WORKSHOP STRUCTURES ON ORGANİZATİONAL CREATİVİTY İN TEXTİLE INDUSTRY DESİGN CENTERS	Doç. Vildan TOK DERECİ Sinem ÇAVDAR
		5	THE IMPACT OF DIGITAL EDUCATION PLATFORMS ON CORPORATE IMAGE AND PERCEPTION MANAGEMENT: A QUALITATIVE STUDY ON UNIVERSITY STUDENTS	Gözde KUZU ULUÇAY
		6	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE–SUPPORTED PERSONALIZATION APPROACHES IN LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS ON LEARNING PROCESSES	Ahmet Gökhan ULUÇAY
		7	THE IMPACT OF PROACTIVE PERSONALITY ON EMPLOYEE MOTIVATION: A STUDY ON EMPLOYEES IN DIFFERENT SECTORS	Yasamin Ghaffari Jourabi Doç. Dr. Öğretim Üyesi Ali Leventeli
		8	DO EASTBOUND AND WESTBOUND FREIGHT RATES LEAD EACH OTHER? A LINEAR GRANGER CAUSALITY ANALYSIS ON THE SHANGHAI–ROTTERDAM ROUTE	Abdullah Açık Bunyamin Kamal
		9	STATE-DEPENDENT EFFECTS OF CARBON PRICES ON DRY BULK FREIGHT MARKETS: EVIDENCE FROM QUANTILE REGRESSION	Abdullah Açık Bunyamin Kamal
		10	THE IMPORTANCE OF SOCIAL SUSTAINABILITY WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABILITY MANAGEMENT: A COMPARATIVE CASE ANALYSIS OF GLOBAL AND TÜRKİYE CONTEXTS	Asst. Prof. Dr. Derya YÜCEL
		11	THE EVOLUTION AND FUTURE TRENDS OF SOCIAL SUSTAINABILITY LITERATURE: A COMPREHENSIVE BIBLIOMETRIC ANALYSIS (1993-2025)	Asst. Prof. Dr. Derya YÜCEL Res. Asst. Fatih EROĞLU
		12	TÜKETİCİLERİN KARBON AYAK İZİ FARKINDALIĞININ KURUMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİNDEKİ ROLÜ	Doç. Dr. Talha BAYIR

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Budi Santoso,**	1	PUBLIC ADMINISTRATION REFORMS FOR POST-CONFLICT GOVERNANCE RECONSTRUCTION IN IRAQ	Prof. Dr. Ahmed Al-Samarrai, Dr. Fatima Hassan, Omar Khalid
		2	DECENTRALIZATION CHALLENGES AND LOCAL GOVERNMENT CAPACITY BUILDING IN IRAQI PROVINCES	Assoc. Prof. Dr. Layla Mahmoud, Dr. Sami Rashid, Noor Ibrahim
		3	E-GOVERNMENT IMPLEMENTATION STRATEGIES FOR ENHANCING PUBLIC SERVICE DELIVERY IN INDONESIA	Dr. Budi Santoso, Assoc. Prof. Dr. Sari Wijaya
		4	CORRUPTION PREVENTION MECHANISMS AND ADMINISTRATIVE TRANSPARENCY IN INDONESIAN BUREAUCRACY	Prof. Dr. Agus Pratama, Lina Setiawati, Rina Kusuma
		5	PUBLIC SECTOR REFORM INITIATIVES ADDRESSING CIVIL SERVICE PROFESSIONALIZATION IN SUDAN	Dr. Abdelrahman El-Siddig, Fatima Ali, Assis. Prof. Dr. Omar Hassan
		6	LOCAL GOVERNANCE MODELS FOR CONFLICT MANAGEMENT AND COMMUNITY DEVELOPMENT IN SUDAN	Assoc. Prof. Dr. Nadia Khalil, Dr. Mustafa Osman
		7	DIGITAL GOVERNANCE TRANSFORMATION THROUGH SMART CITY INITIATIVES IN TAIWAN	Prof. Dr. Chen Wei-Ling, Dr. Lin Mei-Hua, Wang Hao
		8	PUBLIC POLICY EVALUATION FRAMEWORKS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN TAIWAN	Dr. Huang Pei-Chen, Assis. Prof. Dr. Tsai Ming-Jie, Liu Chun-Yi
		9	CIVIL SERVICE REFORM AND PERFORMANCE MANAGEMENT SYSTEMS IN TAIWANESE ADMINISTRATION	Assoc. Prof. Dr. Wu Li-Chun, Chang Yu-Ting
		10	INTERGOVERNMENTAL FISCAL RELATIONS AND LOCAL BUDGET AUTONOMY IN TAIWAN	Prof. Dr. Lee Hsiao-Wen, Dr. Yeh Shu-Fen, Chen Yi-Jing, Kao Ming-Hsien
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Huang Tsung**	1	WOMEN'S COOPERATIVES AS CATALYSTS FOR SOCIAL COHESION IN SUDANESE REFUGEE CAMPS	Dr. Aisha Mohammed, Fatima El-Sayed
		2	RESTORATIVE JUSTICE CIRCLES FOR CONFLICT RESOLUTION IN DARFUR COMMUNITIES	Assis. Prof. Dr. Hassan Ibrahim, Mariam Ahmed, Khalid Osman
		3	TRADITIONAL CONFUCIAN MEDIATION MODELS FOR URBAN NEIGHBORHOOD DISPUTES IN TAIWAN	Prof. Dr. Chen Wei-Ling, Dr. Lin Mei-Hua, Wang Jia-Hao
		4	INDIGENOUS RITUALS AND MODERN PSYCHOSOCIAL SUPPORT FOR TAIWAN ABORIGINAL HEALING	Assoc. Prof. Dr. Huang Tsung-Yi, Li Pei-Chen, Chang Yu-An
		5	ECOLOGICAL RESTORATION PROJECTS FOSTERING COMMUNITY SOLIDARITY IN TAIWANESE RURAL VILLAGES	Dr. Tsai Ming-Ju, Liu Hao-Wei, Prof. Dr. Wu Shu-Fen, Chen Li-Ting
		6	COMMUNITY RECONCILIATION PROGRAMS FOR POST-CONFLICT HEALING IN IRAQI SUNNI-SHIA NEIGHBORHOODS	Prof. Dr. Ahmed Al-Samarrai, Dr. Fatima Hassan, Omar Khalid
		7	TRAUMA RECOVERY INITIATIVES THROUGH INTERGENERATIONAL DIALOGUE IN IRAQI KURDISTAN	Assoc. Prof. Dr. Layla Mahmoud, Karim Aziz, Dr. Nadia Rahman, Sara Ismail
		8	INTEGRATING TRADITIONAL HEALING PRACTICES IN INDONESIAN POST-DISASTER COMMUNITY RECOVERY	Dr. Budi Santoso, Assoc. Prof. Dr. Sari Wijaya
		9	YOUTH-LED PEACEBUILDING WORKSHOPS ADDRESSING ETHNIC TENSIONS IN ACEH PROVINCE	Prof. Dr. Rina Setiawati, Adi Pratama, Lina Sari
		1		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Kiptoo Arap,**	1	DIGITAL MEDIA INFLUENCE ON YOUTH POLITICAL MOBILIZATION DURING KENYAN ELECTIONS	Prof. Dr. Jane Mwangi, Dr. Kiptoo Arap, Sarah Njoroge, Elias Ochieng
		2	SOCIAL MEDIA PROPAGANDA TACTICS IN ETHNIC CONFLICT NARRATIVES IN KENYA	Assoc. Prof. Dr. Paul Kimani, Miriam Wanjiku, Dr. Hassan Omar
		3	COMMUNITY RADIO'S ROLE IN HIV/AIDS AWARENESS CAMPAIGNS IN RURAL KENYA	Dr. Agnes Kiptoo, Samuel Otieno, Grace Muthoni
		4	SMARTPHONE ADOPTION PATTERNS AND INFORMATION ACCESS IN KENYAN SLUMS	Assis. Prof. Dr. Ruth Ndung'u, James Kariuki, Amina Hassan, Peter Mbugua
		5	WHATSAPP MISINFORMATION CAMPAIGNS DURING PAKISTANI POLITICAL CRISES	Prof. Dr. Fatima Ahmed, Dr. Bilal Khan, Sana Rehman
		6	TELEVISION FRAMING OF GENDER ISSUES IN CONSERVATIVE PAKISTANI SOCIETY	Assoc. Prof. Dr. Nadeem Malik, Ayesha Siddiqui, Imran Farooq
		7	BOLSONARO ERA FAKE NEWS ECOSYSTEMS ON BRAZILIAN SOCIAL PLATFORMS	Dr. Carlos Silva, Prof. Dr. Mariana Costa, Lucas Pereira, Sofia Ramos
		8	TELEVISÃO FRAMING OF AMAZON RAINFOREST DESTRUCTION IN BRAZILIAN MEDIA	Assoc. Prof. Dr. Roberto Lima, Ana Beatriz, João Mendes
		9	PODCAST INFLUENCE ON YOUTH POLITICAL ENGAGEMENT IN URBAN BRAZIL	Dr. Fernanda Oliveira, Gabriel Santos
		10	DIGITAL DIVIDE AND RURAL BROADBAND ACCESS CHALLENGES IN BRAZIL	Assis. Prof. Dr. Thiago Correa, Isabela Nunes, Pedro Almeida, Dr. Laura Mendes
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Samuel Otieno,**	1	**IMPACT OF CLIMATE-INDUCED RURAL-TO-URBAN MIGRATION ON NAIROBI SLUM COMMUNITIES**	Prof. Dr. Mwangi Kiptoo, Dr. Amina Hassan, Joseph Njoroge
		2	**SOCIOECONOMIC INTEGRATION CHALLENGES FOR SOMALI REFUGEES IN KENYAN BORDER TOWNS**	Assoc. Prof. Dr. Esther Wanjiku, Omar Abdullahi, Grace Muthoni
		3	**GENDER DYNAMICS IN INTERNAL DISPLACEMENT PATTERNS ACROSS KENYAN ARID LANDS**	Dr. Samuel Otieno, Fatma Ali, Peter Kimani
		4	**EDUCATIONAL BARRIERS FACING REFUGEE CHILDREN IN DADAAB CAMPS LONG-TERM**	Njeri Mwangi, Prof. Dr. David Kariuki, Salma Ibrahim
		5	**LABOR MIGRATION PATTERNS FROM RURAL PAKISTAN TO GULF COUNTRIES ECONOMIC IMPACTS**	Dr. Ahmed Khan, Fatima Zahra, Bilal Rehman
		6	**AFGHAN REFUGEE RESETTLEMENT EXPERIENCES IN PAKISTANI URBAN NEIGHBORHOODS**	Assoc. Prof. Dr. Sara Malik, Imran Siddiqui
		7	**URBAN INFORMAL ECONOMY PARTICIPATION AMONG BRAZILIAN NORTHEASTERN MIGRANTS**	Prof. Dr. Carlos Silva, Maria Oliveira, João Pereira
		8	**VENEZUELAN MIGRANT INTEGRATION CHALLENGES IN SÃO PAULO LABOR MARKETS**	Dr. Ana Ribeiro, Lucas Santos, Camila Ferreira
		9	**CLIMATE MIGRATION EFFECTS ON AMAZON RURAL COMMUNITIES AND INDIGENOUS POPULATIONS**	Assis. Prof. Dr. Rafael Lima, Dr. Isabel Costa

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. DR. Nourredine Cherifi,**	1	THE INTERPLAY OF RELIGION AND PHILOSOPHY IN AZERBAIJANI CULTURAL CONTEXT	Nigar Mammadova, Elvin Huseynov,
		2	PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF RELIGIOUS BELIEFS IN MODERN AZERBAIJAN	Farid Aliyev, Leyla Ismayilova
		3	THE INFLUENCE OF ISLAMIC PHILOSOPHY ON CONTEMPORARY ETHICS IN IRAN	Dr. Mohammad Rezaei, Lec. Simin Ahmadi,
		4	RELIGION AND PHILOSOPHY: A CRITICAL STUDY OF REASON AND FAITH IN IRANIAN THOUGHT	Ali Karimi, Fatemeh Hosseini,
		5	RELIGIOUS PHILOSOPHY AND NATIONAL IDENTITY IN ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Yacine Belkacem, Amira Bouzid, Karim Mansouri,
		6	THE ROLE OF PHILOSOPHY IN SHAPING ALGERIAN THEOLOGICAL DISCOURSE	Prof. DR. Nourredine Cherifi,
		7	THE SYNTHESIS OF RELIGIOUS AND PHILOSOPHICAL THOUGHT IN GEORGIAN INTELLECTUAL TRADITIONS	Dr. Nino Beridze, Dr. Levan Tsereteli,
		8	MODERN GEORGIAN PHILOSOPHICAL REFLECTIONS ON THE MEANING OF FAITH	Tamar Javakhishvili, Assis. Prof. Dr. Giorgi Kapanadze,

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Roya Ebrahimi,**	1	INNOVATIVE TEACHING METHODS TO ENHANCE STUDENT ENGAGEMENT	Altynay Kussainova, Dr. Yerlan Sadykov
		2	THE IMPACT OF DIGITAL TOOLS ON LEARNING OUTCOMES IN HIGHER EDUCATION	Assoc. Prof. Dr. Aigerim Nurgalieva, Didar Zhumabaev
		3	CHALLENGES OF REMOTE EDUCATION AND STRATEGIES FOR IMPROVEMENT	Dr. Roya Ebrahimi, Assis. Prof. Dr. Seyed Karim Hosseini
		4	THE ROLE OF CULTURAL CONTEXT IN CURRICULUM DEVELOPMENT	Leila Mortazavi, Dr. Hamid Reza Balouchi
		5	ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF INCLUSIVE EDUCATION POLICIES IN INDIA	Prof. Dr. Anjali Rajan, Dr. Vikram Singh
		6	TEACHER TRAINING PROGRAMS AND THEIR EFFECT ON CLASSROOM MANAGEMENT	Assoc. Prof. Dr. Priya Menon, Sunil Sharma
		7	THE USE OF PROJECT-BASED LEARNING TO BOOST CRITICAL THINKING SKILLS	Prof. Dr. Nino Gelashvili, Irakli Donadze
		8	IMPROVING STUDENT MOTIVATION THROUGH PERSONALIZED LEARNING PATHWAYS	Assis. Prof. Dr. Mariam Beridze, Giorgi Kvaratskhelia
		9	THE EFFECT OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY ON STUDENT ACHIEVEMENT RATES	Dr. Khatuna Bakradze, Prof. Dr. Levan Tsiklauri, Natia Chikhradze

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Fatemeh Zare**	1	STRATEGIC MANAGEMENT PRACTICES AND THEIR IMPACT ON ORGANIZATIONAL PERFORMANCE	Prof. Dr. Saima Ahmed, Dr. Faraz Khan, Ayesha Malik
		2	THE ROLE OF LEADERSHIP STYLES IN ENHANCING EMPLOYEE MOTIVATION	Assoc. Prof. Dr. Imran Siddiqui, Ali Raza, Dr. Sana Javed
		3	DIGITAL TRANSFORMATION AND ITS EFFECT ON BUSINESS COMPETITIVENESS	Cristina Popescu, Prof. Dr. Andrei Ionescu
		4	SUSTAINABILITY INITIATIVES IN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES: A ROMANIAN PERSPECTIVE	Dr. Elena Georgescu, Assis. Prof. Dr. Mihai Dumitrescu
		5	THE INFLUENCE OF CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT ON SALES GROWTH	Dr. Sara Mohammadi, Prof. Dr. Reza Kazemi
		6	ANALYZING MARKET ENTRY STRATEGIES FOR IRANIAN STARTUPS	Mohammad Rahimi, Assoc. Prof. Dr. Fatemeh Zare
		7	EFFECTS OF CORPORATE GOVERNANCE ON FIRM PERFORMANCE IN EGYPT	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Dr. Mona Hassan
		8	IMPLEMENTING INNOVATION MANAGEMENT TO DRIVE BUSINESS SUCCESS	Assis. Prof. Dr. Youssef Abdelrahman, Sara Ibrahim
		9	THE IMPACT OF ECONOMIC POLICIES ON ENTREPRENEURSHIP DEVELOPMENT	Dr. Hany Mostafa, Prof. Dr. Salma Farouk, Tarek Adel
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assis.Prof. Dr. Hanaa Abdelaziz,**	1	ECONOMIC IMPACT OF TOURISM DEVELOPMENT IN CUBA	Prof. Dr. Maria Fernandez, Dr. Carlos Ruiz, Ana Lopez Jose Martinez,
		2	ANALYSIS OF SOCIAL POLICIES AND ECONOMIC GROWTH IN CUBAN ECONOMY	Assoc. Prof. Dr. Elena Garcia
		3	THE ROLE OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES IN ALBANIAN ECONOMIC TRANSITION	Dr. Arben Kola, Assis. Prof. Dr. Elira Shehu, Gentian Dervishi
		4	FINANCIAL MARKET DEVELOPMENT AND INVESTMENT STRATEGIES IN ALBANIA	Prof. Dr. Ervin Meta, Dr. Blerina Hoxha
		5	INFLATION DYNAMICS AND MONETARY POLICY EFFECTIVENESS IN IRAN	Dr. Reza Kian, Prof. Dr. Leila Mohammadi
		6	LABOR MARKET CHALLENGES AND UNEMPLOYMENT TRENDS IN IRANIAN ECONOMY	Mohammad Salehi, Assoc. Prof. Dr. Sara Razavi Prof. Dr. Mona Youssef
		7	ANALYSIS OF FISCAL POLICIES AND PUBLIC DEBT MANAGEMENT IN EGYPT	Dr. Ahmed Naguib,
		8	AGRICULTURAL SECTOR'S CONTRIBUTION TO EGYPTIAN ECONOMIC DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Karim Hassan, Mostafa El-Sayed, Sarah Kamal Omar Said

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assoc. Prof. Dr. Somchai Phanvilay,**	1	THE EVOLUTION OF TRADITIONAL LAO POETRY IN CONTEMPORARY LITERATURE	Assoc. Prof. Dr. Somchai Phanvilay,
		2	CULTURAL IDENTITY AND LANGUAGE PRESERVATION IN LAO FOLKTALES	Assoc. Prof. Dr. Bounmy Keomany, Phouthone Phommasane, Dr. Sombath Vilay Dr. Ketsana Vang
		3	THE INFLUENCE OF ANCIENT EGYPTIAN MYTHOLOGY ON MODERN LITERARY THEMES	Dr. Ahmed El-Sayed, Prof. Dr. Mona Hassan
		4	POSTCOLONIAL NARRATIVES IN EGYPTIAN LITERATURE: A CRITICAL ANALYSIS	Assis. Prof. Dr. Youssef Mohamed, Dina Abdelrahman Prof. Dr. Habibullah Rahimi, Dr
		5	REPRESENTATIONS OF WAR AND PEACE IN AFGHAN LITERATURE	. Fariba Saeedi
		6	THE ROLE OF ORAL TRADITIONS IN AFGHANISTAN'S LITERARY IDENTITY	Nazan Gul, Assoc. Prof. Dr. Ahmad Wali
		7	EXPLORING KYRGYZ EPIC POETRY AND ITS SOCIAL FUNCTIONS	Assoc. Prof. Dr. Bekmamat Umetaliev Dr. Aizada Toktogulova
		8	THE IMPACT OF SOVIET LITERARY LEGACY ON KYRGYZ WRITERS	Prof. Dr. Zamira Usupova, Nurjan Sadykova Dr. Mirbek Isakov, Assis. Prof. Dr. Aigul Tynchtykbekova, Elmira Bakytova
		9		
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Dr. Elena Smirnova**	1	THE EVOLUTION OF INTERNATIONAL HUMAN RIGHTS LAW IN AFRICA	Prof. Dr. Amina Dube, Kwame Nkrumah, Zanele Khumalo
		2	LEGAL FRAMEWORKS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION IN SUB-SAHARAN AFRICA	Dr. Michael Owusu, Assoc. Prof. Dr. Thandi Mbeki, Samuel Adeyemi
		3	THE ROLE OF SHARIAH LAW IN OMAN'S LEGAL SYSTEM	Fatima Al-Harthy, Dr. Saif Al-Rawahi
		4	ANALYSIS OF COMMERCIAL LAW REFORMS IN OMAN FOR FOREIGN INVESTMENTS	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Amri, Nawal Said, Faisal Al-Hinai, Dr. Mariam Al-Kindi
		5	CYBERSECURITY LEGISLATION AND DATA PROTECTION IN RUSSIA	Igor Petrov, Dr. Elena Smirnova
		6	CRIMINAL JUSTICE REFORMS AND HUMAN RIGHTS PROTECTION IN RUSSIA	Assoc. Prof. Dr. Alexei Volkov, Dr. Oksana Kuznetsova, Ivan Morozov
		7	CHALLENGES OF ENFORCING INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IN NIGERIA	Prof. Dr. Chinedu Okeke, Ifeoma Nwosu
		8	WOMEN'S LEGAL RIGHTS AND SOCIAL EMPOWERMENT IN NIGERIA	Dr. Aisha Bello, Assis. Prof. Dr. Funke Adeyemi, Ngozi Eze, Prof. Dr. Olufemi Adetunji
		9	LEGISLATION AGAINST CORRUPTION: ASSESSING EFFECTIVENESS IN NIGERIA	Samuel Johnson, Dr. Grace Obi, Assoc. Prof. Dr. Kelechi Umeh, Ifedayo Adebayo, Prof. Dr. Maryam Yusuf
		10		
		11		

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 23 - 29, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Aralık / Dec 28, 2025 / 16:30 – 18:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Assoc. Prof. Dr. Alina Beketova**	1	THE EVOLUTION OF CONTEMPORARY AFRICAN ART AND ITS GLOBAL INFLUENCE	Assis. Prof. Dr. Chinedu Okafor
		2	DIGITAL TECHNOLOGIES AND THEIR IMPACT ON TRADITIONAL NIGERIAN ART FORMS	Dr. Ifeanyi Umeh, Oluchi Nwankwo, Emeka Onwudiwe
		3	EXPLORING THE RESURGENCE OF FOLK ART IN KAZAKHSTAN'S MODERN CULTURE	Assoc. Prof. Dr. Alina Beketova
		4	CULTURAL IDENTITY AND VISUAL ARTS IN KAUKAZ REGION	Dr. Timur Kuanyshbek, Assis. Prof. Dr. Zhanara Ismailova
		5	THE INFLUENCE OF SPANISH BAROQUE ART ON MODERN PAINTING TECHNIQUES	Prof. Dr. Marta Garcia, Luis Fernandez, Dr. Javier Ruiz
		6	THE ROLE OF PUBLIC ART IN URBAN SPACES IN SPAIN	Dr. Elena Sanchez, Assoc. Prof. Dr. Carlos Moreno, Ana Lopez, Miguel Ramos
		7	ARTISTIC EXPRESSIONS IN DUBAI: A FUSION OF TRADITION AND MODERNITY	Dr. Fatima Al Mansoori, Assis. Prof. Dr. Saeed Al Falasi
		8	IMPACT OF GLOBALIZATION ON THE ART MARKET IN THE UAE	Prof. Dr. Khalid Bin Rashid, Sara Al Nahyan, Dr. Maryam Al Mazrouei, Omar Saeed
		9	THE ROLE OF ART FESTIVALS IN PROMOTING CULTURAL DIALOGUE IN DUBAI	Assoc. Prof. Dr. Latifa Al Khouri, Dr. Hamid Al Ali, Noura Youssef, Ali Bin Thani, Dr. Yasmin Ahmed
		10		
		11		

Contents

BÖBREK HASTALIKLARINDA BESLENME DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR ... 1

TİP-2 DİYABETLİ KADINLARDA BESLENME DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ ... 24

18-65 YAŞ ARASI YETİŞKİNLERİN FONSİYONEL BESİN TÜKETİMİ İLE BKİ VE BEL ÇEVRESİ ARASINDAKİ İLİŞKİ ... 41

KİSTİK KİSTİK FİBROZİS HASTALARINDA METABOLİK DEĞİŞİMLERE UYGUN GÜNCEL BELENME ÖNERİLERİ ... 50

İNTERSTİSYEL AKCİĞER HASTALIĞI OLAN BİREYLERDE REHABİLİTASYON GEREKÇELERİ ... 56

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA AFET TATBİKATLARININ UYGULANMASI VE YETERLİLİK DÜZEYLERİ ... 61

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA MEYDANA GELEBİLECEK KAZALAR VE İLK YARDIM ... 79

PNÖMOKONYOZ MESLEK HASTALARININ ÖZELLİKLERİNİN GİZİL SINIF ANALİZİ ... 93

SİNOP İLİNDEKİ TEKSTİL ÇALIŞANLARININ İŞ KAZASI GEÇİRME EĞİLİMLERİ: TANIMLAYICI BİR ARAŞTIRMA ... 105

SAĞLIK İŞLETMELERİNDE TIBBİ ATIK YÖNETİMİ ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFLERİ ... 107

PERAKENDE SEKTÖRÜNDE ERGONOMİK RİSK FAKTÖRLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA ... 109

SAĞLIK KURUMLARINDA İSG EĞİTİMLERİ: KAPSAM, MEVZUAT VE UYGULAMA YAKLAŞIMLARI ... 125

SAĞLIKTA YAPAY ZEKA VE DİJİTALLEŞMENİN ROLÜ ... 141

The Role of Corporate Leadership in Occupational Health and Safety: A Safety-Oriented Management Approach ... 156

HAVACILIK OPERASYONLARINDA EMNİYET KÖRLÜĞÜ: ALGI–DAVRANIŞ KOPUKLUĞUNUN EMNİYET BOYUTU ... 158

TEL EROZYONLA İŞLEMEDE (WEDM) ENERJİ TÜKETİMİNİN ÖNEMİ ... 159

TEL EROZYONLA İŞLEMEDE TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE MODELLENMESİ ... 169

Hafif Ticari Araç Koltuklarında Harness Konnektör Yarım Montaj Sorununun İyileştirilmesi ve Poke-Yoke Destekli Dizayn Uygulaması ... 178

OTOMOTİV KOLÇAK VE BİLEŞENLERİNDE CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİPROPİLENİN MEKANİK VE FİNANSAL PERFORMANSI ... 179

ATOMİZASYON GEREKTİREN ÇÖZELTİLER İÇİN NOZUL TASARIMININ CFD ANALİZİ VE PYTHON İLE SAYISAL DOĞRULANMASI ... 180

ANTİK DÖNEM BRONZ OK UÇLARININ DENEYSEL ARKEOLOJİ YÖNTEMLERİYLE ÜRETİMİ VE MİKROYAPI ANALİZİ ... 189

ABS TÜPLERİN ÇARPIŞMA DAYANIMINA VE ENERJİ SÖNÜMLEME KAPASİTESİNE DİKİŞ POZİSYONUNUN ETKİSİ ... 203

FDM TEKNOLOJİSİ İLE İMAL EDİLEN ABS VE PA6 GF KOMPOZİT NUMUNELERİN BASMA DAYANIMI VE ENERJİ SÖNÜMLEME KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ ... 213

OSTEOARTRİTTE KOAGÜLASYON VE EKSTRASELLÜLER MATRİKS YENİDEN ŞEKİLLENMESİ YOLAKLARINI ETKİLEYEN MOLEKÜLER DEĞİŞİKLİKLER: BİR PLAZMA PROTEOMİK ÇALIŞMASI ... 227

MOLECULAR ALTERATIONS AFFECTING COAGULATION AND EXTRACELLULAR MATRIX REMODELING PATHWAYS IN OSTEOARTHRITIS: A PLASMA PROTEOMICS STUDY 229

KUERSETİNİN ESKAPE PATOJENLERİ ÜZERİNE ANTİMİKROBİYAL VE ANTİBİYOFİLM ETKİLERİ 231

A Chemometric Study on the Relationship Between Molecular Descriptors and Inhibitory Potency: Multivariate Analytical Profiling of Alzheimer's Disease Related Alkaloids 233

Multivariate Chemometric Data Analysis in Determining the Water Solubility Profile of Drug Candidates: Development and Performance Validation of an Analytical Model 238

ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ VE TEK SAĞLIK YAKLAŞIMI 244

BAKTERİLERDE BİYOFİLM OLUŞUMU: ÖNEMİ VE MEKANİZMALARI 257

Genotoxic Effects of Aluminum Oxide Nanoparticles in *Galleria mellonella* 266

ARALIKLI ORUÇ TUTMAYA BAĞLI KOLON DOKUSUNUN APOPTOTİK MOLEKÜLER YANITLARI 271

SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİNDE YER ALAN RİSKLERİN L TİPİ RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZ METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA 274

METABOLİK BİR PERSPEKTİFTEN KENTLERİ YENİDEN DÜŞÜNMEK 287

ÇOCUK DOSTU KENT PERSPEKTİFİNDEN MİLLET BAHÇELERİ REHBERİ'NİN DEĞERLENDİRİLMESİ 289

İKLİM VE HİDROJEOMORFOLOJİK BASKILAR ALTINDA NEMRUT KRATER GÖLÜ'NÜN KIYI EVRİMİ (1984–2024) 298

İKLİME DUYARLI KENTSEL ÇATI PEYZAJLARI: SİSTEMATİK BİR DERLEME VE YENİ BİR HİBRİT ÇATI EKOSİSTEM HİZMETLERİ MATRİSİ 307

CLIMATE-RESPONSIVE URBAN ROOFSCAPES: A SYSTEMATIC REVIEW AND A NEW HYBRID ROOF ECOSYSTEM SERVICES MATRIX 309

KIRSAL TURİZM ALANLARINDA PEYZAJ MİMARLIĞININ ROLÜ 320

EKO-BELLEK VE PEYZAJ MİMARLIĞI 331

COMPLEMENTARY ELEMENTS OF SPACE: FURNITURES 342

FORM EXPRESSIONS VIA LINEARITY AND EFFECTIVE ENVIRONMENT: BASIC DESIGN STUDIO EXPERIENCE 352

TÜRKİYE'DE KENTSEL KIYILARIN ERİŞİM VE KULLANIMI İLE İLGİLİ HAZIRLANAN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (1998-2025) 362

THE SCIENTIFIC FOOTPRINT OF A SILENT EPIDEMIC GLOBAL PUBLICATION TRENDS IN POSTMORTEM TOXICOLOGY STUDIES ON FENTANYL AND ITS DERIVATIVES 377

FROM THE SILENT REGIONS OF THE GENOME TO ADDICTION: ncDNA and EPIGENETIC BIOMARKERS 396

FİZYOTERAPİDE KLİNİK KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN KULLANIMI 416

GERİATRİK REHABİLİTASYONDA TEKNOLOJİ DESTEKLİ NÖROMOTOR EĞİTİM UYGULAMALARININ FONKSİYONELLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ 425

KARDİYOVASKÜLER HASTALIKLARDA EVDE BAKIM UYGULAMALARININ YAŞAM KALİTESİNE ETKİSİ 435

HİYALÜRONİK ASİDİN BİYOLOJİK ÖNEMİ VE SAĞLIKTA KULLANIMI 442

YENİ NESİL DİZİLEMENİN NADİR HASTALIKLARDAKİ ROLÜ 459

PID KONTROLLÜ CERRAHİ ROBOTLARDA HATA PAYININ AZALTILMASI 469

SAVUNMA SANAYİ SEKTÖRÜNDE SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ VE YAZILIM GELİŞTİRME TAKIMLARININ NEXUS ÇERÇEVESİ İLE ENTEGRASYONU ÜZERİNE BİR ÇEVİK ÇALIŞMA YAKLAŞIMI 477

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONUNA DAYALI SEZGİSEL BULANIK REGRESYON FONKSİYONLARI YAKLAŞIMI 485

PREDICTION OF GROUNDWATER LEVELS WITH MULTI-MODEL APPROACHES: ARIMAX, VAR, MACHINE LEARNING AND SHAP-BASED EXPLAINABILITY ANALYSIS 495

MODERN ORDULARDA İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TAKTİK KULLANIMINDA YAPAY ZEKANIN ETKİNLİĞİ 496

B2C E-TİCARET SİPARİŞ SÜREÇLERİNİN SÜREÇ MADENCİLİĞİ İLE ANALİZİ: SİPARİŞTEN TESLİMAT, İPTAL VE İADE SÜREÇLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME 510

REGULARIZATION SENSITIVITY OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES ON THE OCTMNIST BENCHMARK 511

OPTIMIZATION STABILITY UNDER VARYING LEARNING RATES FOR RETINAL DISEASE CLASSIFICATION 521

HYBRID META-HEURISTIC FEATURE SELECTION FOR RESNET101-BASED OLIVE PEACOCK EYE DISEASE DETECTION 531

EFFECT OF NANOSILICA REINFORCEMENT ON THE MICROHARDNESS, DENSITY, AND MICROSTRUCTURES OF EPOXY RESIN COMPOSITES 539

MODELLING OF LASER ABLATION GEOMETRY AND SURFACE ROUGHNESS ON TI6AL4V USING COMSOL MULTIPHYSICS 544

ASSESSMENT OF EXPERIMENTAL VARIABLES IN FIBRE LASER PROCESSING OF TI6AL4V ALLOY UTILISING COMSOL SIMULATION 557

Fe_3O_4 NANOTOZLARININ YAPISAL ve MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ 570

KOMPOZİT/METAL HİBRİT SİSTEMLERDE YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ 578

AÇIK SOSYAL POLITIKA VERILERIYLE ÖZ-DÜZENLEME SÖYLEMI: AVRUPA'DA BIREYSEL SORUMLULUK, SOSYAL KORUMA VE DEVLET BEKLENTISI İLIŞKISI 596

AÇIK ÇALIŞMA VERİLERİYLE ÖZ-YÖNETİMİN ÖLÇÜMÜ: UZAKTAN VE DİJİTAL ÇALIŞMADA OTONOMİ, İZLEME VE DAVRANIŞSAL UYUMUN NİCEL ANALİZİ 611

GÖRÜNÜR TEMSİL, ÖLÇÜLEBİLİR ETKİ: AVRUPA PARLAMENTOSU'NDA SİYASAL GÜCÜN NİCEL ANATOMİSİ 623

ALGORİTMİK ŞEFFAFLIK Mİ, BÜROKRATİK SESSİZLİK Mİ? AVRUPA BİRLİĞİ KOMİSYONU'NDA KARAR ALMA SÜREÇLERİNİN AÇIK VERİYLE HARİTALANMASI 631

ÜRÜN DEĞİŞİKLİKLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİMİ: PLM-KONFİGÜRASYON-DÖNGÜSEL EKONOMİ ÜÇGENİ 640

TÜRKMENİSTAN MOBİLYA SEKTÖRÜ- EKONOMİ, DIŞ TİCARET VE GİRİŞİMCİLİK 655

ÖZBEKİSTAN MOBİLYA ENDÜSTRİSİNİN EKONOMİK POTANSİYELİ VE GELECEĞİ 660

SOSYAL GÜVENLIK VE BAKIM REJIMI KADIN İSTIHDAMINI ŞEKILLENDIRIR MI? 666

SOSYAL GÜVENLİK HARCAMALARININ YENİDEN DAĞITIM ETKİNLİĞİ: OECD SOCX VE SWIID AÇIK VERİLERİYLE BİLEŞİM-TEMELLİ PANEL ANALİZİ 673

Kars İlinde Süt Sığırı İşletmelerinde Yetiştiricilerin Öğrenim Durumunun Kolostrum Yönetimi, Sütten Kesme Yaşı ve Sağım Uygulamalarına Etkisi 683

Süt Sığırı İşletmelerinde Yetiştirici Yaşı Kolostrum Yönetimini, Sütten Kesme Yaşını ve Sağım Uygulamalarını Etkiler mi? Kars İli Örneği 691

İNFLAMATUVAR BAĞIRSAK HASTALIKLARINDA OKSİDATİF STRES BELİRTEÇLERİ 701

KANATLI KORONAVİRÜSLERİ..... 717

PARVOVİRİDAE 724

Ratlarda Kimyasal Karsinojenlerle İndüklenen Organ Spesifik Kanser Modelleri..... 732

İklim Değişikliğinin Gri Papağanda (*Psittacus erithacus*) Bulaşıcı Hastalıklara Etkileri..... 745

LABORATUVAR HAYVANLARINDA DENEYSEL TÜMÖR MODELLERİ..... 755

COMPARATIVE PERSPECTIVES ON URBAN TRANSFORMATION: GLOBAL APPROACHES AND OUTCOMES ACROSS TEN COUNTRIES 766

BUILDING AMNESTY AND LAND USE GOVERNANCE: COMPARATIVE INSIGHTS WITH A FOCUS ON TURKEY 772

6 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİ SONRASINDA KİLİS VE HATAY'DA İLÇE BAZINDA NÜFUSUN MEKÂNSAL SÜREKLİLİĞİ: CBS VE WORLDPOP VERİLERİ ÜZERİNDEN BİR ANALİZ..... 777

AMSTERDAM SCHIPHOL HAVALİMANI VE ANKARA ESENBOĞA HAVALİMANI ÇEVRESİNİN KENTSEL GELİŞİMİNİN UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA ZAMANSAL ANALİZİ 789

KENTSEL YEŞİLLENDİRME YAKLAŞIMLARINDA DİKEY BAHÇELER: WEB OF SCİENCE TABANLI BİBLİYOMETRİK BİR ARAŞTIRMA 796

TEMATİK HARİTALAR BAĞLAMINDA KÜLTÜREL MİRAS ÇALIŞMALARININ GELİŞİMİ: WEB OF SCİENCE BİBLİYOMETRİK DEĞERLENDİRMESİ..... 809

MICROBIOTA–IMMUNE SYSTEM INTERACTIONS IN MULTIPLE SCLEROSIS: CURRENT EVIDENCE AND CLINICAL IMPLICATIONS..... 820

CRISPR–CAS SYSTEMS AND ANTIMICROBIAL RESISTANCE: MECHANISMS, CHALLENGES, AND CLINICAL POTENTIAL 832

THEOBROMINE AS A NATURAL SCAFFOLD FOR ANTICANCER DRUG DESIGN: DOCKING AND ADMET-BASED INSIGHTS 845

COMPARATIVE INVESTIGATION OF PHENOLIC COMPOUNDS, ANTIOXIDANT CAPACITY AND PROTEIN CONTENT OBTAINED FROM ETHANOL AND WATER EXTRACTIONS OF *VITEX AGNUS-CASTUS* L. SEEDS 852

THE EFFECTS OF DIFFERENT SOIL pH LEVELS ON THE HISTOLOGY OF *Eisenia fetida* 860

BİYODİZEL ATIKSUYUNDAN O_3/H_2O_2/UV PROSESİ İLE KOİ, TOK VE MEOH GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI 861

ADVANCED OXIDATION PROCESSES IN THE TREATMENT OF PHARMACEUTICAL MANUFACTURING INDUSTRY WASTEWATER 863

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ANTIOXIDANT CAPACITIES OF COMMERCIALLY AVAILABLE FIG SEED OILS..... 871

KRİPTOGRAFİK SÖZDE RASTGELE SAYI ÜRETEÇLERİNİN PERFORMANS VE İSTATİSTİKSEL KARŞILAŞTIRMASI..... 876

ÇEVRİMİÇİ ÖDEME SİSTEMLERİNİN BENİMSENMESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN BİREYSEL VE KURUMSAL PERSPEKTİFLERDEN ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHP) İLE ANALİZİ 890

AN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE ADOPTION OF ONLINE PAYMENT SYSTEMS FROM INDIVIDUAL AND CORPORATE PERSPECTIVES 892

GÜRÜLTÜLÜ VERİ SETLERİ İÇİN AKTİF ÖĞRENME İLE VERİ TEMİZLEME VE YARI OTOMATİK ETİKETLEME 910

KOLONOSKOPİ TABANLI POLİP SEGMENTASYONUNDA VERİ SETİ YANLILIĞI 922

DATASET BIAS IN COLONOSCOPY-BASED POLYP SEGMENTATION 923

KURUMSAL YAPAY ZEKÂ CHATBOTLARINDA HALÜSİNASYON SORUNU VE RAG YAKLAŞIMI 934

EXPLORING THE INTERSECTION OF GENETICS, CREATIVITY, AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS 936

Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu İlaçlarına Yönelik Hasta Geri Bildirimlerinin Doğal Dil İşleme ve Büyük Dil Modelleri ile Analizi 937

KURUMSAL KİMLİK VE ERİŞİM YÖNETİMİ (IAM) SİSTEMLERİNDE ANOMALİ TESPİTİ 948

BARAJ YÖNETİMİ İÇİN SİSTEM DİNAMİĞİ UYGULAMASI 950

TURNAROUNDAI: Çoklu Kamera, Sensör Füzyonu ve Yapay Zekâ Algoritmaları ile Apron Turnaround Süreçlerinin Gerçek Zamanlı Analizi 956

IOT BASED INTELLIGENT PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEM FOR OCCUPANCY PREDICTION USING IN VEHICLE AIR POLLUTION DATA 973

KAYNAK KISITLI BÖLGELERDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ TÜBERKÜLOZ TANISI: ERİŞİLEBİLİRLİK, EŞİTSİZLİK VE GÜVENLİK PERSPEKTİFİ 984

KOAH'IN ÖNLENEBİLİR AŞAMASINDA MULTİDİSİPLİNER YAKLAŞIMLAR: YAPAY ZEKÂ İLE ERKEN RİSK TAHMİNİ, ÇEVRESEL VE DAVRANIŞSAL ANALİZLER VE DİJİTAL SAĞLIK EKOSİSTEMLERİ 993

SHORT-TERM ELECTRICITY CONSUMPTION FORECASTING USING XGBOOST WITH CALENDAR FEATURES 1004

EĞİTİMİN MERKEZİYETSİZLEŞTİRİLMESİ: DİPLOMA VE TRANSKRİPT YÖNETİMİNDE GÜVEN VE VERİMLİLİK 1011

YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ÇİMENTO FABRİKALARINDA HAVA KİRLİLİĞİNİN TESPİT EDİLMESİ VE ANALİZİ 1020

KAFA İÇİ BASINÇ ARTIŞINDA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI 1030

KATETER İLİŞKİLİ ÜRİNER SİSTEM ENFEKSİYONLARINDA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI 1055

CERRAHİ TAKIMDA PSİKOLOJİK GÜVENLİK: HATA BİLDİRİMİ 1079

HASTANEDE YATAN 3-6 YAŞ GRUBU KRONİK HASTALIĞI OLAN ÇOCUKLARIN HASTANEDEKİ AKTİVİTELERİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ 1080

The Status of the Nurses Working in the Field of Child Health and Diseases in Implementing Their Roles and Functions, and the Factors Affecting This 1100

ÜRİNER İNKONTİNANSIN YAŞAM KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ, CERRAHİ TEDAVİSİ VE POSTOPERATİF HEMŞİRELİK YAKLAŞIMI 1116

POSTMENOPOZAL DÖNEMDE ÜRİNER İNKONTİNANSI ÖNLEME VE KORUMA: Yaşam Tarzı Değişiklikleri ve Davranışsal Yaklaşımlar 1123

BÜKÜM MERKEZİ MAKİNESİNDE BÜKÜM PARÇASININ AKIM DÖNGÜSÜYLE KONTROLÜ VE KARŞILAŞTIRILMASI 1133

A NOVEL BIDIRECTIONAL FLOATING INTERLEAVED QUASI-Z-SOURCE DC-DC CONVERTER 1134

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SLOT TYPE ON THE EFFICIENCY OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATORS FOR WIND TURBINE APPLICATIONS 1143

EMERGING DEVELOPMENTS AND ADVANCES IN SOLAR PHOTOVOLTAIC PANEL CLEANING TECHNOLOGIES 1155

PARAMETRİK TASARIM VE DİJİTAL ÖZELLEŞTİRME YAKLAŞIMIYLA TEKİL BİR OTURMA ELEMANININ HESAPLAMALI TASARIMI 1172

KONTEYNER ELLEÇLEME TAHMİNİNDE MODEL SEÇİMİ: EGE BÖLGESİ LİMANLARI UYGULAMASI 1179

PV SİSTEMLERDE DEĞİŞKEN ÇEVRESEL KOŞULLARDA FARKLI MPPT ALGORİTMALARININ PERFORMANS VE SİSTEM STABİLİTESİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ 1196

ENGINEERING DIELECTRIC SURFACE AREA IN TRIBOELECTRIC NANOGENERATORS FOR HIGH EFFICIENCY 1220

KATI YAKITLARDA YANMA HIZININ DENEYSEL İNCELENMESİ 1221

GIS APPLICATIONS IN SOLID WASTE COLLECTION AND TRANSFER 1237

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ ARACILIĞIYLA ULAŞIM MODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: KARABÜK İLİ ÖRNEĞİ 1238

TOROİDAL VE KLASİK PERVANE İTKİ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI 1239

TEK YÖNLÜ VE İKİ YÖNLÜ EŞLEME YÖNTEMLERİ İLE YÜZER YAPILARIN HİDROELASTİK ANALİZİ 1245

ÖSTROJEN HORMONLARI VE PRENATAL TARAMA TESTLERİNDE KULLANIMLARI 1268

ESTROGEN HORMONES AND THEIR USES IN PRENATAL SCREENING TESTS 1269

İNFERTİLİTEDE GÖRÜNMEYEN YÜK: DAMGALANMA VE PSİKOSOSYAL SONUÇLARI 1273

DİJİTAL TÜKENMİŞLİK: DİJİTALLEŞEN ÇALIŞMA YAŞAMINDA YENİ BİR MESLEKİ RİSK 1279

“EV GENCİ” OLGUSU: NEET GENÇLERDE SOSYAL GERİ ÇEKİLME VE DİJİTAL YAŞAMIN RUH SAĞLIĞINA ETKİLERİ 1288

ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE ALGILADIKLARI STRES DÜZEYLERİ İLE TOPLUMSAL KATILIMLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ 1294

MULTIMODAL PHYSIOTHERAPY IN CANCER-RELATED LYMPHEDEMA 1306

KANSERLE İLİŞKİLİ LENFÖDEMDE MULTİMODAL FİZYOTERAPİ YAKLAŞIMLARI 1307

LYMPHEDEMA ASSESSMENT METHODS 1314

LENFÖDEM DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ 1315

SEPSİSİN TANISINDA YENİLİKLER: BİYOBELİRTEÇLERDEN YAPAY ZEKAYA 1323

FONKSİYONEL SÜT ÜRÜNLERİ VE KARDİYOVASKÜLER SAĞLIK: YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR 1333

KENT PARKLARININ İYİ OLMA HALİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ 1343

MİKROKLİMA DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ: ÖLÇÜM TEKNİKLERİ ve UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI 1363

KIYI ALANLARINDA YER ALAN MİLLET BAHÇELERİNİN KULLANIM VE MEMNUNİYET DÜZEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÜNYE BATIPARK MİLLET BAHÇESİ ÖRNEĞİ 1377

A COMPREHENSIVE REVIEW ON PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC POLLUTANTS FROM WASTEWATER 1390

WEAK FIXED POINT PROPERTY FAILURE IN A KÖTHE–TOEPLITZ TYPE FUNCTION SPACE ASSOCIATED WITH A SCALED–WEIGHT α –DUAL STRUCTURE 1396

PERİYODİK SINIR ŞARTLARI İLE VERİLEN SÜREKSİZ STURM-LİOUVİLE PROBLEMİNİN ÖZDEĞER VE ÖZFONKSİYONLARI 1405

YÖNLÜ AĞIRLIKLI ÇİZGE DEĞERLİ ESNEK KÜMELER İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME UYGULAMALARI 1412

BİR SÜREKSİZ STURM-LİOUVİLLE SINIR-DEĞER-GEÇİŞ PROBLEMİNİN ÖZDEĞERLERİNİN ALTTAN SINIRLILIĞI ÜZERİNE 1414

ÇOK-ARALIKLI STURM-LİOUVİLLE TİPİNDE BİR SINIR-DEĞER-İLETİM PROBLEMİNİN GENELLEŞTİRİLMİŞ ÖZFONKSİYONLARI ÜZERİNE 1421

REICH TYPE CONTRACTION IN CONTROLLED ULTRAMETRIC-TYPE SPACES 1427

A FIXED POINT THEOREM FOR CHATTERJEA CONTRACTIONS IN MULTIPLICATIVE MODULAR METRIC SPACES 1435

TOTAL DOMINATION RUPTURE DEGREE OF GRAPHS 1443

Approximation Properties of p,q-Baskakov Operators Involving Modified Euler Polynomials 1445

Analysis of Oscillation in Fractional Order Systems 1446

Çok Noktadan Temas Eden Bilyelerle Ezerek Parlatma İşleminde İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi ve Sertlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi 1447

STRUCTURAL PROPERTİES OF ST14 STEEL JOİNED BY FRİCTİON STİR WELDİNG 1462

FİZYOLOJİK ORTAMDA CaO_2 NANOPARTİKÜLLERİNİN OKSİJEN SALIM DAVRANIŞINDA STABİLİZATÖR VE KATALİZÖRLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ 1463

YEŞİL SENTEZ YÖNTEMİ İLE ACHILLEA MILLEFOLIUM VE ECHINACEA PURPUREA ÖZÜTLERİ KULLANILARAK PLATİN NANOPARTİKÜLLERİNİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU 1477

S690 ÇELİĞİNİN BENZER OLMAYAN MALZEMELERLE KAYNAKLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER VE DOLGU TELİNİN SEÇİMİ 1490

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN KAYNAKLI ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ ... 1497

METAKAOLENDEN SiC PARTİKÜL TAKVİYELİ MÜLLİT SERAMİK KOMPOZİT ÜRETİMİ 1508

AA 6082 Alüminyum Alaşımının MIG Kaynağında Isı Girdisinin Mikroyapı, Sertlik ve Kırılma Davranışına Etkisi 1520

BİR KONUT POLİTİKASI ÖNERİSİ OLARAK YATAY MİMARİ: KARABÜK ÖRNEĞİ 1533

MİMARİ PLANLAMA KARARLARININ DEPREM YÖNETMELİĞİ ÇERÇEVESİNDE ANALİZİ: L, T VE U FORMLU KONUT YAPILARINDA PLANDA DÜZENSİZLİK SORUNU 1553

TEMSİL ARACI OLARAK MİMARİ FOTOĞRAF 1568

ANALYSIS OF THE SMART CITIES CONCEPT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN THE KARABAKH REGION OF AZERBAIJAN 1577

KENTSEL DÖNÜŞÜMDE SOSYAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: İZMİR, BAYRAKLI ÖRNEĞİ 1584

KAPALI ALAN WiFi KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİNDE LOG-MESAFE YOL KAYBI MODELİ VE GAUSS SÜREÇ REGRESYONU YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ 1599

TEMEL FORMLARDAN OLUŞAN MEKÂNLARIN İÇ MEKÂN AYDINLATMASI AÇISINDAN İNCELENMESİ 1608

ENERJİ İLETİM HAVA HATLARININ YAPIM MALİYETİNDEKİ YILLIK DEĞİŞİMLERİN ENDEKS SAYILARI YARDIMIYLA ANALİZİ 1621

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDEKİ SERİ KOMPANZASYON TESİSLERİNİN EKONOMİK YÖNDEN ANALİZİ 1629

ANALYSIS OF THE TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF TM-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES THROUGH MULTILAYER DIELECTRIC STRUCTURES 1637

SMPS UYGULAMALARI İÇİN DOĞRUSAL OLMAYAN İNDÜKTÖR MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ 1642

TRANSFORMATÖR ALTINDA ANTİVİBRASYON PEDİ KULLANILARAK SES SEVİYESİ DÜŞÜRÜLECEK 20(26) MVA 115/33 KV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ 1650

12MVA 6,3-10,5KV YG-YG KURU TİP TRANSFORMATÖR PROTOTİP İMALATI VE TESTLERİ 1651

PREMAG SARGISI İLE MANYETİK ALANIN DÜZGÜN ŞEKİLDE OLUŞMASINI SAĞLAYACAK 23 MVA 33/33 KV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI , PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ 1652

OTOMOTİV BOYA YÜZEYLERİNDEKİ RENK SAPMALARI VE MİKRO KUSURLARIN TESPİTİNDE YÜKSEK CRI (>97) AYDINLATMA KOŞULLARININ ROLÜ 1653

İSTİLACI *FISTULARIA COMMERSONII* VE *FISTULARIA PETIMBA* TÜRLERİNİN İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDEN YENİ KAYITLARI 1655

ASLAN BALIĞININ (*PTEROIS MILES*) İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDEN YENİ KAYITLARI 1662

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ ÇAYIRLARI EKOSİSTEMLERİNE ETKİLERİ 1667

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIAGNOSIS, MONITORING AND MANAGEMENT OF PLANT DISEASES 1676

SOĞUK HAVA DEPOLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ve İZOLASYONUN ÖNEMİ 1689

YENİLENEBİLİR ENERJİNİN TARIMSAL ÜRETİMDEKİ YERİ 1695

MUKAVEMETİ GÜÇLENDİRİLMİŞ İLETKENLİ, 31.5 MVA 33/11.5 KV TRANSFORMATÖR TASARIMI , PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ 1702

ANTALYA İLİ VE ÇEVRESİNDE YETİŞTİRİLEN MUZ ÜRETİM ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN PATOJENLER 1706

ANTALYA İLİ VE ÇEVRESİNDEKİ YEMEKLİK KÜLTÜR MANTARI ÜRETİM ALANLARINDA *Pseudomonas tolaasii*' NİN YAYGINLIK DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ: 2023-2025 1712

BURDUR İLİ VE ÇEVRESİNDE YETİŞTİRİLEN ŞEKERPANCARI ÜRETİM ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN FUNGAL PATOJENLER VE BUNLARIN YAYGINLIK DURUMLARININ BELİRLENMESİ 1719

SEBZE VE MEYVE ÜRETİMİNDE BİYOLOJİK MÜCADELENİN YERİ KONUSUNDA ANTALYA İLİ ÜRETİCİLERİNİN BİLGİ DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ 1726

PLANLI DAVRANIŞ KURAMI TEMELLİ AKILCI İLAÇ KULLANIMI YAKLAŞIMI 1734

FDM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PETG MALZEMELİ PARÇALARDA PROSES PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL MODELLENMESİ 1745

YÜKSEK HIZLI 3B YAZICI KULLANILARAK FDM BASKI SÜREÇLERİNDE HİGROSKOPİK MALZEMELERİN (PETG/TPU) STABİLİZASYONU 1757

BATARYA TERMAL YÖNETİM SİSTEMLERİNDE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN KULLANIMI 1766

INVESTIGATION OF THE TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF TE-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES THROUGH MULTILAYER DIELECTRIC LAYERS STRUCTURES 1773

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE UÇUŞ BAZLI KARBONDİOKSİT EMİSYONLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK VERİ TABANLI BİR KARAR DESTEK MODELİ 1778

E-TİCARET PLATFORMLARININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ VE BİBLİYOMETRİK ANALİZ İLE SEÇİMİ 1790

YEŞİL ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ İÇİN GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI 1812

ZOONOZLAR ve İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ 1818

BÖBREK HASTALIKLARINDA BESLENME DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Dyt. Şaziye Didar GANİ

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi,

saziyedidargani@gmail.com - ORCID ID: 0009-0000-5479-5820

Dr. Öğr. Üyesi Rahime Evra KARAKAYA

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi,

rekarakaya@aybu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-1368-3501

ÖZET

Böbrekler, sıvı ve elektrolit dengesi ile metabolik atıkların atılması gibi işlevleri yerine getiren organlardır. Böbreklerdeki işlev kaybı Akut Böbrek Hasarı (ABH) ve Kronik Böbrek Yetmezliği (KBY) gibi sağlık sorunlarının oluşmasına neden olmaktadır. KBY ilerledikçe kardiyovasküler hasar, elektrolit bozuklukları ve protein enerji malnütrisyonu (PEM) gibi morbidite ve mortalite oranlarını artıran ciddi komplikasyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle böbrek hastalarında beslenme durumunun değerlendirilmesi, oluşabilecek komplikasyonların azaltılması ve önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, çocuk ve yetişkin böbrek hastalarında beslenme durumunun saptanması amacıyla kullanılan antropometrik ölçüm yöntemlerini (kuru ağırlık, beden kütle indeksi, vb.), vücut kompozisyonu analizlerini (biyoelektriksel impedans analizi, ultrasonografi vb.), biyokimyasal belirteçleri (albümin, kreatinin, üre, elektrolitler, vb.) ve klinik tarama araçlarını (subjektif global değerlendirme, malnütrisyon-inflamasyon skoru vb.) güncel literatür doğrultusunda incelemeyi amaçlamaktadır. Derlemede böbrek yetmezliği, malnütrisyon, beslenme durumu, sarkopenik obezite ve yapay zekâ alanları ile ilgili çalışmalar için bilimsel veri tabanları taranmıştır. Literatür incelendiğinde, KBY ile kas ve yağ dokusunun azaldığı, inflamasyonun arttığı, sarkopenik obezitenin yaygınlaştığı ve buna bağlı olarak antropometrik ve vücut kompozisyonu göstergeleri ile çeşitli biyobelirteçlerin hastalığın ilerleyişinin değerlendirilmesinde önemli rol oynadığı görülmüştür. Bununla birlikte, son yıllarda yapay zekâ ve makine öğrenimi tabanlı modellerin, beslenme değerlendirmesi ve klinik izlem süreçlerini iyileştirme potansiyeli olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, böbrek hastalarında beslenme durumu; antropometri, vücut kompozisyonu, besin alımı ve metabolik parametrelerin yeni, objektif ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gereken dinamik ve kritik bir süreçtir. Multidisipliner bir yaklaşımla birlikte yapılan bu değerlendirmeler PEM'in erken teşhisine ve klinik süreçlerin daha etkin yönetimine katkı sağlayarak hastaların genel sağlık durumunun desteklenmesine olanak tanıyabilir.

Anahtar Kelimeler: Akut Böbrek Yetmezliği, Kronik Böbrek Yetmezliği, Malnütrisyon, Beslenme Durumu, Yapay Zekâ, Sarkopenik Obezite

EVALUATION OF NUTRITIONAL STATUS IN KIDNEY DISEASES: CURRENT APPROACHES

RDN. Şaziye Didar GANİ

Ankara Yıldırım Beyazıt University,

saziyedidargani@gmail.com - ORCID ID: 0009-0000-5479-5820

Asst. Prof. Dr. Rahime Evra KARAKAYA

Ankara Yıldırım Beyazıt University,

rekarakaya@aybu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-1368-3501

ABSTRACT

The kidneys are vital organs responsible for maintaining fluid and electrolyte balance and eliminating metabolic waste products. Impairment of kidney function leads to conditions such as Acute Kidney Injury (AKI) and Chronic Kidney Disease (CKD), the progression of which is associated with serious complications including cardiovascular damage, electrolyte disturbances, and protein–energy malnutrition (PEM), all of which contribute to increased morbidity and mortality. Therefore, assessing the nutritional status of individuals with renal disease is essential for mitigating and preventing these adverse outcomes. This review examines current methods used to evaluate nutritional status in pediatric and adult kidney patients, including anthropometric measurements (e.g. dry weight, body mass index), body composition analyses (e.g. bioelectrical empedance analysis, ultrasonography), biochemical markers (e.g. albumin, creatinine, urea, electrolytes), and clinical screening tools (e.g. Subjective Global Assessment, Malnutrition–Inflammation Score). In this review, scientific databases were searched for studies related to renal failure, malnutrition, nutritional status, sarcopenic obesity, and artificial intelligence. The literature demonstrates that CKD is commonly associated with reduced muscle and fat mass, increased inflammation, and a rising prevalence of sarcopenic obesity, highlighting the importance of anthropometric indicators, body composition parameters, and biochemical biomarkers in monitoring disease progression. In addition, recent evidence suggests that AI and machine learning–based models may enhance nutritional evaluation and clinical follow-up processes. Overall, nutritional evaluation in kidney disease is a dynamic, multifactorial process requiring an integrated and objective approach. Conducted within a multidisciplinary framework, such assessments can support early detection of PEM, improve clinical management, and contribute to better patient outcomes.

Keywords: Acute Kidney Injury, Chronic Kidney Disease, Malnutrition, Nutritional Status, Artificial Intelligence, Sarcopenic Obesity

1. GİRİŞ

Böbrekler; vücutta sıvı ve elektrolit dengesinin sağlanması, metabolik atıkların (üre, ürik asit ve kreatinin) atılması, kan basıncının düzenlenmesi ve bazı hormonların üretimi gibi hayati işlevleri yerine getirmektedir. Böbrek hastalıkları arasında kronik böbrek yetmezliği (KBY), akut böbrek yetmezliği (ABY), glomerülonefrit ve böbrek taşı bulunmaktadır (Türker, 2019).

Avrupa Klinik Beslenme ve Metabolizma Derneği (ESPEN), akut böbrek hasarını (ABH), saatler ila günler içinde gelişen ve 7 günden kısa sürede ortaya çıkan ani böbrek fonksiyon kaybı olarak tanımlamaktadır. Tanı, 48 saat içinde serum kreatinin (sCr) düzeyinde ≥0,3 mg/dl artış, son 7 gün içinde başlangıç değerinin ≥1,5 katına yükselmesi veya idrar çıkışının <0,5 ml/kg/saat olması kriterlerinden en az birinin karşılanmasıyla konulmaktadır. ABY ise akut böbrek hasarını tetikleyen bir olay sonrası böbrek hasarı veya fonksiyon kaybının 7–90 gün arasında devam ettiği, akut ve kronik dönemler arasında yer alan klinik süreci tanımlamaktadır (Fiaccadori vd., 2021). ABY, genellikle hızlı gelişen ve geri dönüşü mümkün olan bir durumdur. Prerenal (hipoperfüzyon), intrarenal (parankimal hasar) ve postrenal (idrar akımının tıkanması) nedenlerle ortaya çıkabilmektedir. Cerrahi komplikasyonlar ve crush sendromu gibi travmatik olaylar da ABY gelişimini etkilemektedir (Mohsen vd., 2023). ABY, özellikle yaşlı ve kronik hastalıkları olan bireylerde KBY riskini artıran, şiddeti ve tekrarı ile ilişkili bir durumdur; ABY sonrası 7–90 gün arasındaki subakut dönem, KBY'yi önlemek için kritik bir müdahale penceresi sunmaktadır (Kung & Chou, 2023).

KBY, genellikle geri dönüşsüz olup böbrek fonksiyonlarının üç aydan uzun süredir ilerleyici şekilde bozulması ile karakterizedir. En sık etiyolojik nedenler arasında tip 2 diyabet, hipertansiyon, glomerülonefrit, polikistik böbrek hastalığı ve nefrolitiazis yer almaktadır. Ayrıca viral enfeksiyonlar, ilaçlar ve genetik yatkınlık da KBY gelişimine katkı sağlayabilmektedir (Abdissa, 2020; Mohsen vd., 2023).

KBY, ilerleyici ve geri dönüşsüz nefron kaybı sonucu glomerüler filtrasyon hızının azalmasıyla gelişen ve sıvı-elektrolit dengesini bozan bir hastalıktır. Obezite ve diyabet sıklığındaki artış, KBY prevalansını yükseltmiş; 2017'de dünya genelinde yaklaşık 844 milyon kişiyi etkilemiştir (Kovesdy, 2022). KBY'nin her evresinde kardiyovasküler, kemik-mineral ve elektrolit bozuklukları görülürken, ileri evrelerde volüm yüklenmesi, hiperkalemi, metabolik asidoz ve malnütrisyon gibi ciddi komplikasyonlar ortaya çıkmaktadır (Collaborators, 2015; Türker, 2019).

Protein enerji malnütrisyonu (PEM), son dönem böbrek yetmezliği (SDBY) hastalarında yaygın olarak saptanan ve mortalite ile morbidite riskini artıran önemli bir komplikasyondur (H. Zhang vd., 2019). Bu nedenle, beslenme durumu ve vücut kompozisyonunun değerlendirilmesi, komplikasyonları azaltmak ve yaşam kalitesini yükseltmek için önemlidir (Türker, 2019). KBY hastalarına yönelik beslenme rehberliği ve beslenme okuryazarlığının artırılması; anemi, elektrolit ve asit-baz dengesizliklerini önlemeye, su-sodyum retansiyonunu azaltmaya, mineral

ve kemik metabolizmasını desteklemeye, diyaliz ihtiyacını geciktirmeye ve tedaviye yanıtı güçlendirmeye yardımcı olur. Ayrıca bu yaklaşım, yorgunluk, anksiyete ve depresyonu azaltarak yaşam kalitesini yükseltebilir (Li vd., 2023).

Bu çalışma çocuk ve yetişkin böbrek hastalarında beslenme durumunun saptanması amacıyla kullanılan antropometrik ölçüm yöntemlerini (kuru ağırlık, beden kütle indeksi, vb.), vücut kompozisyonu analizlerini (biyoelektriksel impedans analizi, ultrasonografi vb.), biyokimyasal belirteçleri (albümin, kreatinin, üre, elektrolitler, vb.) ve klinik tarama araçlarını (subjektif global değerlendirme, malnütrisyon-inflamasyon skoru vb.) güncel literatür doğrultusunda incelemeyi amaçlamaktadır.

2. YETİŞKİN BÖBREK HASTALIKLARINDA BESLENME DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yetişkin böbrek hastalarında beslenme durumunun değerlendirilmesinde, antropometrik ölçümler ve vücut kompozisyonu (vücut ağırlığı, boy uzunluğu, beden kütle indeksi (BKİ), kas çevresi, kas alanı, biyoelektriksel impedans analizi (BIA), dual enerji X ışını absorbsiyometrisi (DEXA)), klinik bulgular (kreatinin, albümin, serum prealbumin, normalize edilmiş protein katabolik oranı (nPCR)) ve beslenme alışkanlıkları (günlük besin tüketimi, sıklığı) üzerinden değerlendirilmektedir. Ayrıca malnütrisyon riski veya durumu, Subjektif Global Değerlendirme (SGD), Malnütrisyonda Global Beslenme Liderliği Girişim kriterleri (GLIM) ve Malnütrisyon İnflamasyon Skoru (MIS) gibi standart araçlarla saptanmaktadır (Annunziata vd., 2024; Kang vd., 2025).

2.1. Yetişkin Böbrek Hastalıklarında Antropometrik Ölçümler

Vücut Ağırlığı ve Kuru Ağırlık Yönetimi

Vücut ağırlığı, toplam vücut su içeriğindeki değişkenlik nedeniyle beslenme durumu göstergesi olarak sınırlılıklar taşımaktadır; bu nedenle değerlendirmelerin kuru ağırlık üzerinden yapılması önerilmektedir (Avesani, 2023). KBY hastalarında mevcut olan ödem, gerçek vücut ağırlığı kaybını maskeleyebileceğinden, ağırlıktaki değişimler hem yetişkin hem de pediatrik popülasyonda sıvı yükü dikkate alınarak yorumlanmalıdır. Vücut ağırlığında son 6 ay içinde %5'ten, 6 aydan uzun sürede ise %10'dan fazla meydana gelen istemsiz kayıplar klinik olarak anlamlı ve kötü prognoz göstergesi kabul edilmektedir (Mak vd., 2023). Diyaliz hastalarında, katabolik durum ve inflamasyon nedeniyle kas ve yağ dokusu kaybı sonucu PEM yaygın görülmektedir; ancak eş zamanlı gelişen ödem nedeniyle bu durum düzenli kuru ağırlık takibi yapılmadığı sürece fark edilememektedir (MacLaughlin vd., 2022)

Beden Kütle İndeksi (BKİ) ve Sarkopenik Obzeite

KBY hastalarında sarkopeni prevalansı genel popülasyonun yaklaşık iki katı olup, tüm evrelerde %24,5 düzeyinde seyreden küresel bir sağlık sorunudur (Chao vd., 2025; Duarte vd., 2024). Bu klinik tablo, yaşlanmaya bağlı katabolik süreçten ziyade üremik ortamdaki artmış protein yıkımı ile karakterizedir (Chao vd., 2025). Ağır sarkopeni prevalansı diyaliz

hastalarında %26,2 gibi yüksek bir orana ulaşırken, bu bireylerde eş zamanlı olarak %10,8 oranında sarkopenik obezite olgularına rastlanmaktadır (Duarte vd., 2024). Böbrek yetmezliğinde sarkopenik obezite gelişimi; üremik ortamın tetiklediği kronik inflamasyon, oksidatif stres ve insülin direnci gibi faktörlerin kas kaybı ve yağ artışını aynı anda hızlandırdığı bir sürece bağlı olarak özellikle metabolik asidoz, kas protein yıkımını artırırken yağ dokusunun metabolik komplikasyonlarını daha da ağırlaştırarak kas-yağ dengesinin bozulmasına neden olmaktadır (Chao vd., 2025).

BKİ aylık olarak değerlendirilmeli, ancak tek başına bir beslenme göstergesi olarak yeterli kabul edilmemelidir (Türker, 2019). Özellikle sarkopenik obezite (düşük kas kütlesi veya gücü ile obezitenin aynı anda görülmesi) durumunda BKİ yanıltıcı olabildiğinden, kas ve yağ kütlesinin birlikte analizi gerekmektedir (Avesani, 2023). Obezite, KBY başlangıcı için bağımsız bir risk faktörü olmakla beraber artan BKİ, albüminüri artışı ve glomerüler filtrasyon hızı (eGFR) düşüşü ile ilişkilendirilmektedir (Annunziata vd., 2024). Obezite prevalansı kullanılan tanı kriterine (BKİ, bel çevresi ve vücut yağ oranı) göre %30'dan fazla değişkenlik gösterebilmektedir (Bellafronte, de Queirós Mattoso Ono, vd., 2021). Sonuç olarak BKİ; yağ ve kas kütlesini ayırt edememekte, sıvı yükünden etkilenmekte ve mikro besin durumu veya inflamasyon hakkında bilgi vermemektedir (Kang vd., 2025). Bu nedenle klinik açıdan sadece yağın toplam miktarı değil, vücut yağının dağılımı da kritik bir öneme sahiptir çünkü yağ dağılımı inflamatuar süreçler ve olumsuz klinik sonuçlarla doğrudan ilişkilendirilmektedir (Bellafronte, de Queirós Mattoso Ono, vd., 2021).

Deri kıvrım kalınlığı ölçümleri, ödem veya belirgin sıvı değişiklikleri bulunmadığında, toplam vücut yağ miktarını yansıtabilmekte ancak güvenilirlik açısından birden fazla anatomik bölgeden ölçüm yapılması önerilmektedir (Avesani, 2023). Tanısal süreçte apendiküler yağsız kütle için kadınlarda ≤15,87 kg ve erkeklerde ≤21,43 kg eşik değerleri, kas kütlesi yetersizliğini saptamada yüksek doğruluk sergilemektedir (Bellafronte vd., 2020).

Konisite indeksi, KBY nedeniyle hemodiyalize giren bireylerde abdominal obeziteyi değerlendirmek için önerilen önemli bir antropometrik göstergedir. Brezilya'da yapılan bir çalışmada, hemodiyaliz tedavisi gören 941 kronik böbrek hastasının değerlendirildiği kesitsel çalışmada, konisite indeksi kullanılarak abdominal obezite prevalansı erkeklerde %56,5 (%95 GA: 34,3–70,2), kadınlarda %43,5 (%95 GA: 38,5–55,2) olarak saptanmıştır. Yetişkin yaş grubunda olmanın abdominal obezite olasılığını hem erkeklerde (OR = 3,71; %95 GA: 2,27–6,07) hem de kadınlarda (OR = 4,06; %95 GA: 2,41–6,84) anlamlı düzeyde artırdığı belirlenmiştir (Martins vd., 2023).

Antropometrik ölçümler arasında üst orta kol kas çevresi (ÜOKÇ), yağsız vücut kütlesi ve protein depoları için değerli bir gösterge olmakla birlikte, aşırı hidrasyondan etkilenebildiği için bazal ölçümlerle karşılaştırılarak yorumlanmalıdır (Mak vd., 2023). Baldır çevresi kas kütlesinin dolaylı bir göstergesi olarak kullanılabilse de sıvı retansiyonu olan hastalarda BKİ'ye göre düzeltilmiş referanslarla değerlendirilmesi önerilmektedir (Avesani, 2023). Sarkopeni durumunda pratik klinik değerlendirmeler için önerilen baldır çevresi sınır değerleri ise kadınlar için ≤35,5 cm, erkekler için ≤37 cm olarak bildirilmektedir (Bellafronte vd., 2020). Bel çevresi, vücut yağ dağılımının değerlendirilmesinde kullanılırken, morbid obez bireylerde ölçüm hataları artabilmekte ve güvenilirlik azalabilmektedir (Avesani, 2023).

Kas fonksiyonunun değerlendirilmesinde el kavrama gücü, düşük değerlerinin malnütrisyon, komorbidite yükü ve mortalite ile ilişkili olması nedeniyle pratik ve klinik açıdan anlamlı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (MacLaughlin vd., 2022).

Yatak başı ölçümlerini değerlendiren çalışmalarda, appendiküler yağsız kütle ve baldır çevresinin düşük kas kütlesini, bel çevresi/boy oranı ve yağ kütlesi indeksinin obeziteyi yüksek doğrulukla saptadığı; bu ölçümlerin sarkopeni ve sarkopenik obezite tanısında yüksek duyarlılık ve özgüllük sunduğu gösterilmiştir (Bellafronte vd., 2020).

Antropometrik ölçümlerin ucuz, uygulanması kolay, tekrarlanabilir olması avantajlar arasında yer alsa da kısa süreli değişimleri yansıtmamakta, fiziksel aktivite, yaş, hidrasyon, ödem, asit gibi faktörlerden etkilenebilmekte ve tek başına güvenilir kabul edilmemektedir (Türker, 2019).

2.2. Yetişkin Böbrek Hastalıklarında Vücut Bileşimi Analizi

Biyoelektriksel İmpedans Analizi (BİA) kolay, hızlı ve non-invaziv bir yöntem olması nedeniyle vücut bileşimi değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. BİA teknolojisi ile saptanan hücre dışı suyun toplam vücut suyuna oranı, hemodiyaliz hastalarında kuru ağırlık takibi ve sıvı yüklenmesine bağlı mortalite riskinin yönetilmesinde etkin bir araçtır. Diyaliz sonrası hızlı sıvı yer değişimi nedeniyle ölçümlerin hemodiyaliz seansı bittikten en az 30-120 dakika sonra, hasta yatar pozisyonda ve metal aksesuarlardan arındırılmış haldeyken yapılması en güvenilir sıvı durumu değerlendirmesini sağlamaktadır (Shin vd., 2025). Ancak SDBY hastalarında, akut su miktarı değişimleri ve periton diyalizi sıvısının varlığı BIA sonuçlarının doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir (Türker, 2019). Literatürde BIA'nın yağsız kütleyi hafifçe yüksek (1,7-2,1 kg), vücut yağ yüzdesini ise düşük tahmin etme eğiliminde olduğu belirtilse de yöntem DEXA ile yüksek korelasyon sergileyen maliyet etkin bir alternatif sunmaktadır (Wilkinson vd., 2019).

BİA ölçümlerinden elde edilen faz açısı (FA), hücresel bütünlüğü ve inflamasyonu yansıtan bağımsız bir prognostik belirteç olup, düşük değerlerin artan ölüm riskiyle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Y. Luo vd., 2023). KBY hastalarında yürütülen bir çalışmada, FA'nın kas sağlığı ve yaşam kalitesi ile güçlü ilişkiler gösterdiği saptanmıştır. FA; iskelet kas kütle indeksi ($r = 0,616$), el kavrama gücü ($r = 0,619$) ve yürüme hızı ($r = 0,290$) ile anlamlı korelasyon göstermiştir (tümü $p<0,001$) ve sarkopeni varlığını öngörebilmiştir ($p = 0,001$). Uzunlamasına değerlendirmede FA artışı kas kütlesindeki artışla, FA azalması ise kas gücündeki azalma ve yaşam kalitesinde bozulma ile ilişkili bulunmuştur. Bu bulgular, faz açısının KBY hastalarında sarkopeninin izlenmesinde ve yaşam kalitesine ilişkin klinik risklerin erken saptanmasında pratik ve güvenilir bir biyobelirteç olabileceğini göstermektedir (Shin vd., 2022).

KBY evre 1–5D hastalarında, DEXA, vücut bileşimi ölçümünde referans yöntem olarak kullanılabilmektedir. DEXA; yağ kütlesi, yağsız vücut kütlesi, apendiküler kas kütlesi ve kemik yoğunluğunu ölçmektedir. DEXA, vücut kompozisyonu ölçümünde altın standart olarak kabul edilmektedir (Mak vd., 2023). Ancak, maliyetinin yüksek olması, uzmanlık gerektirmesi ve sıvı volümünden etkilenebilmesi gibi dezavantajlara sahiptir (Türker, 2019).

Yapılan bir çalışmada, Hume formülü ve BİA ile elde edilen vücut kompozisyonu tahminlerinin, altın standart DEXA ile karşılaştırmalı geçerliliği incelenmiştir. Çalışma

bulgularına göre, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, yaş ve cinsiyet verilerine dayanan Hume formülü, DEXA ile benzer vücut kompozisyonu tahminleri sunabilmekte; benzer şekilde BİA da DEXA'ya yakın doğrulukta sonuçlar vermektedir (Wilkinson vd., 2019). Yapılan bir başka çalışmada ise KBY hastalarında BİA ve DEXA vücut bileşim analiz yöntemlerini karşılaştıran tüm vücut (BİATV) ve segmental (BİASEG) BİA protokolleri kullanılmıştır. Bulgulara göre, DEXA ile en yüksek uyum BİATV protokolünde elde edilmiş; bu uyum özellikle yağ kütlesi ölçümlerinde, yağsız vücut kütlesi ölçümlerine kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak BİA yöntemi özellikle normal hidrasyon durumundaki KBY hastalarında DEXA'ya alternatif olarak kullanılabilmekte; ancak aşırı sıvı yükü varlığında dikkatli yorumlanması gerekmektedir (Bellafronte, Diani, vd., 2021).

Bilgisayarlı tomografi (BT), mevcut klinik görüntülemeler aracılığıyla koroner arter kalsifikasyonu gibi ek hastalıkların değerlendirilmesine olanak tanımakta ve klinik uygulamalarda da kullanımı giderek artmaktadır. Manyetik rezonans görüntüleme (MRI), kas içi yağ infiltrasyonunu değerlendirme kapasitesi ile dikkat çekmekte; kas kütlesi, insülin direnci ve proinflamatuar sitokinlerle olan ilişkileri sayesinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (Ikizler vd., 2020; Türker, 2019). Ultrasonografi (USG) ise yatak başı kullanım kolaylığı, pratikliği ve tekrarlanabilirliği ile öne çıkmakta; kas kesit alanı, kalınlık ve ekojenite ölçümleri ile kas fonksiyonu arasında iyi bir korelasyon gösterdiği bildirilmektedir (Di Mario, F., 2023). Özellikle, kuadriseps kas kalınlığının ultrasonografi ile ölçümü, hemodiyaliz hastalarında protein-enerji yetersizliğinin değerlendirilmesi için potansiyel bir yöntem olarak önerilmektedir (Sahathevan vd., 2020).

2.3. Yetişkin Böbrek Hastalarında Biyokimyasal Parametreler

Böbrek yetmezliği olan bireylerde beslenme durumunun değerlendirilmesinde kullanılan biyokimyasal parametreler, hem viseral protein depolarını hem de metabolik durumu yansıtarak klinik karar sürecine katkı sağlamaktadır (Türker, 2019). Nefron, böbreğin fonksiyonel birimidir ve kanı filtreleyen glomerulus ile maddelerin geri emilimini gerçekleştiren tubüllerden oluşmaktadır. Böbrek hastalıklarını yansıtmak üzere idrar ve plazmadaki birçok biyokimyasal parametre değişiklik göstermektedir. Bu biyokimyasal değişiklikler glomerüler, tübüler ya da nefronların tamamına yayılan hasarları yansıtabilmektedir (Kumahor, 2023). Böbrek hastalıklarında kullanılan biyokimyasal belirteçler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Böbrek Hastalıklarında Kullanılan Biyokimyasal Parametreler.

Parametre	Klinik Önemi	Hedef / Risk Eşiği	Kaynak
Serum Albümin	Kronik beslenme ve inflamasyon göstergesi.	> 4,0 g/dL, EBPG); <3,8 g/dL risk.	(Ikizler vd., 2020; Kang vd., 2025)

Prealbümin	Kısa vadeli protein durumu değişikliğini yansıtır.	<30 mg/dL malnütrisyon riski.	(Kang vd., 2025; Sabatino, A., 2023)
nPCR	Günlük protein alımını dolaylı olarak ölçer.	Hedef ≥1,0 g/kg/gün; <0,8 risk.	(Kang vd., 2025; Türker, 2019)
Serum Kreatinin	Kas kütlesi ve diyet protein alımı ile ilişkilidir.	Düşük düzeyler artmış mortalite riski.	(Torres vd., 2022; Türker, 2019)
CRP & IL-6	Sistemik inflamasyon ve kas yıkımı belirteçleri.	Yüksek düzeyler PEM ve mortalite ile ilişkili.	(Torres vd., 2022)
Kolesterol	Protein/enerji yetersizliği göstergesi.	<150 mg/dL artmış mortalite.	(Türker, 2019)
RBC indeksleri	Anemi ve diyaliz yanıtı takibi (MCV ve MCHC)	MCV <80 fL (Anemi göstergesi). MCHC <33 g/dL risk.	(Naeem vd., 2020)

Kısaltmalar; EBPG (Avrupa En İyi Uygulama Kılavuzları), nPCR (Normalize Protein Katabolizma Hızı), CRP (C-Reaktif Protein), IL-6 (İnterlökin-6), RBC (Kırmızı Kan Hücresi), MCV (Ortalama Eritrosit Hacmi), MCHC (Ortalama Eritrosit Hemoglobin Konsantrasyonu) ve PEM (Protein Enerji Malnütrisyonu).

Serum kreatinin düzeyleri ve kreatinin kinetiği, iskelet kas kütlesi ve diyetle protein alımının dolaylı göstergeleri olarak kabul edilmekle birlikte, et tüketimi ve üremik toksinlerin bağırsak yoluyla atılımı gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir (Ikizler vd., 2020; Türker, 2019). Retrospektif bir kohort çalışmasında idame hemodiyalizi (MHD) alan hastalarda C-reaktif protein-albümin-lenfosit (CALLY = albümin × lenfosit / CRP × 10) indeksinin mortalite ile ilişkisi değerlendirilmiş ve mortalite riskini öngörmeye yönelik bir nomogram geliştirilmiştir. Çalışmaya toplam 436 hasta dâhil edilmiş; bunların 335'i sağ kalan, 101'i ise izlem süresince yaşamını kaybeden hastalardan oluşmuştur. Çok değişkenli lojistik regresyon analizinde CALLY indeksi, serum kreatinin, trigliserid düzeyi, diyaliz süresi, mutlak nötrofil sayısı, kan üre azotu, sodyum ve ferritin düzeylerinin mortalite ile anlamlı şekilde ilişkili olduğu

gösterilmiştir. CALLY indeksinin mortalite için bağımsız ve koruyucu bir faktör olduğu saptanmış, indeks düzeyi arttıkça ölüm riskinin anlamlı olarak azaldığı bulunmuştur. Bulgular, bu indeksle oluşturulan nomogramın bireysel ölüm riskinin öngörülmesinde etkili bir araç olabileceğini göstermektedir (Huang vd., 2025). Serum albümin uzun dönemli beslenme ve inflamatuar durumu yansıtırken, kısa yarı ömürlü prealbümin (transtiretin) akut beslenme değişikliklerinin izlenmesinde daha duyarlı bir belirteç olarak öne çıkmaktadır; ancak her iki parametre de inflamasyon varlığında tek başına malnütrisyon tanısı koymak için yeterli değildir (Kang vd., 2025; Sabatino, A., 2023). Diyetle protein alımının dolaylı bir göstergesi olan nPCR için diyaliz hastalarında ≥1,0 g/kg/gün düzeyi önerilmekte, 0,8 g/kg/gün'ün altındaki değerlerin ise artmış protein-enerji kaybı ve mortalite riski ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Kang vd., 2025). Ayrıca, anemiyi yansıtan düşük eritrosit indeksleri (MCV, MCHC) ile inflamatuar sitokinlerdeki artışın (IL-6, CRP) kas protein yıkımını hızlandırarak hastaların klinik prognozunu olumsuz etkilediği gösterilmiştir (Naeem vd., 2020; Torres vd., 2022).

Başka bir çalışmada, KBY ilerledikçe hemoglobin, hematokrit, eritrosit, lökosit ve trombosit sayılarında anlamlı azalma; üre, kreatinin ve fosfor düzeylerinde artış ve kalsiyumda düşüş saptanmıştır; bu değişiklikler eritropoietin azalması, üremik toksinler, kronik inflamasyon ve bozulan mineral metabolizması ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca KBY'nin başlıca etiyolojik nedenlerinin diyabet-hipertansiyon birlikteliği (%38,46) ve hipertansiyon (%30,76) olduğu bildirilmiştir (Singh & Bhatta, 2018).

KBY hastalarında kreatinin ve üre seviyeleri sık değerlendirilen parametrelerden olup, yapılan bir çalışmada hastaların %63,4'ünde hiperürisemi saptanmıştır. Diyabet ve serum albümin ile değerlendirilen malnütrisyon insidansı sırasıyla %27,4 ve %72,0 olarak belirlenmiştir. Elektrolit bozuklukları arasında hiperfosfatemi (%71,8) ve hipokalsemi (%61,9) yaygın bulunmuştur. Ayrıca cinsiyet, malnütrisyon, diyabet, hiperürisemi ile fosfor ve magnezyum düzensizlikleri KBY için istatistiksel olarak anlamlı risk faktörleri olarak belirlenirken; malnütrisyon ve magnezyum düzensizliği hiperürisemi ile ilişkilendirilmiştir (Mehmood vd., 2022).

Glomerüler filtrasyon hızı (GFR), böbrek fonksiyonlarının değerlendirilmesinde klinik uygulama, araştırma ve halk sağlığı açısından merkezi bir öneme sahiptir. Güncel Kidney Disease Improving Global Outcomes (KDIGO) kılavuzları, GFR değerlendirmesinde ilk basamak olarak serum kreatinin ölçümüne dayalı tahmini GFR (eGFR) hesaplanmasını önermektedir; ancak serum kreatinin düzeyleri yalnızca GFR'den değil, aynı zamanda kas kütlesi ve kreatinin metabolizmasından da etkilendiği için yaş, cinsiyet, ırk, boy ve kilo gibi kas kütlesini dolaylı yansıtan değişkenler denklemlere dahil edilmektedir (Levey vd., 2020). Öte yandan, erken evre KBY genellikle asemptomatik seyrettiğinden tanı çoğu zaman rutin idrar analizi veya hipertansiyon varlığında başlatılan incelemelerle konulabilmekte, albüminüri ise eGFR normal aralıkta olsa dahi erken böbrek hasarını yansıtan önemli bir belirteç olarak öne çıkmaktadır (Zoccali vd., 2024). Prediyaliz KBY hastalarında GFR'nin azalmasının vücut kompozisyonunda olumsuz değişiklikler ve düşük fiziksel aktivite ile ilişkili olduğu, buna karşılık yüksek fiziksel aktivitenin kas kütlesi ve genel vücut kompozisyonu üzerinde koruyucu etkiler sağladığı gösterilmiştir (Bhat vd., 2022). Bu bulgular, gelecekte ırk veya diğer demografik değişkenlere ihtiyaç duymayan, daha hassas ve doğrudan GFR ölçüm

yöntemlerinin geliştirilmesinin klinik araştırmalar için öncelikli bir hedef olduğunu ortaya koymaktadır (Levey vd., 2020; Zoccali vd., 2024).

Bu nedenle böbrek hastalıklarında hem biyokimyasal hem de hematolojik parametrelerin düzenli takibi gerekmektedir. Bu parametrelerin tek başına değil birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

2.4. Yetişkin Böbrek Hastalarında Diyet Öyküsü ve Tarama Testleri

KBY'si olan yetişkinlerde beslenme durumunun değerlendirilmesi, hastalık progresyonu ve uzun dönem klinik sonuçların öngörülmesi açısından temel bir bileşendir. KBY'de protein-enerji malnütrisyonu (PEM) sık görülmekte olup, prevalansı evre 3–5 hastalarda %11–54 arasında değişmektedir ve PEM; kas ve yağ dokusu kaybı, artmış kırılganlık, enfeksiyonlara yatkınlık ve mortalite ile ilişkilidir (MacLaughlin vd., 2022).

Kronik böbrek yetmezliği (KBY) ve diyaliz hastalarında malnütrisyonun değerlendirilmesinde klinik, biyokimyasal ve kompozit indeksler birlikte kullanılmaktadır. Subjektif Global Değerlendirme (SGD); vücut ağırlığı değişimi, besin alımı, gastrointestinal semptomlar, fonksiyonel kapasite ve fizik muayene bulgularına dayanan, pratik ve düşük maliyetli bir tarama aracıdır. SGD, KBY ve diyaliz hastalarında malnütrisyonun şiddetini belirlemenin yanı sıra mortalite ve enfeksiyon riskini öngörmede de etkili bulunmuştur (Iyengar vd., 2022). Diyaliz almayan KBY hastalarında yapılan prospektif bir çalışmada, SGD ile saptanan PEM'nin 2 ve 5 yıllık izlemde böbrek yetmezliği ve/veya mortalite riskini anlamlı olarak artırdığı, bu ilişkinin yaş, eGFR, albümin, diyabet ve protein alımı gibi değişkenlerden bağımsız olduğu gösterilmiştir (Franco vd., 2022).

Diyet öyküsü ve besin tüketim kayıtları PEM'nin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılsa da, hasta beyanına dayalı olmaları nedeniyle objektif yöntemlerle desteklenmeleri önerilmektedir; bu kapsamda nPNA (normalize protein azot görünümü), protein katabolik hızı ve 24 saatlik idrarla protein-fosfor atılımı önemli araçlardır (Ikizler vd., 2020; Türker, 2019). Ayrıca, enerji alımının PEM gelişiminde kritik rol oynadığı gösterilmiş; günlük enerji alımındaki her 1 kkal/kg artışın PEM riskini %12 azalttığı ve ≥27,6 kkal/kg/gün enerji alımının koruyucu olabileceği bildirilmiştir (Han vd., 2024).

Serum albümin ve vücut ağırlığına dayalı olarak hesaplanan Geriatrik Nütrisyonel Risk İndeksi (GNRI), diyaliz öncesi KBY hastalarında beslenme durumunu objektif biçimde yansıtmaktadır. GNRI başlangıçta ≥65 yaş bireyler için geliştirilmiştir ve bu yaş grubunda beslenme riskini öngörmede valide edilmiştir. GNRI <92 olan bireylerde KBY progresyonu ve tüm nedenlere bağlı mortalite riskinin yaklaşık iki kat arttığı ve eGFR düşüş hızının belirgin olarak daha fazla olduğu gösterilmektedir (Chen vd., 2025).

Malnütrisyon-İnflamasyon Skoru (MİS), subjektif değerlendirmelere ek olarak BKİ ve serum albümin gibi objektif parametreleri içermektedir. Yüksek MİS skorları, artmış inflamasyon ve malnütrisyonu yansıtarak mortalite ve morbidite ile güçlü ilişki göstermektedir (Mak vd., 2023). Beslenme ve inflamasyonun birlikte değerlendirilmesine yönelik yeni indekslerden biri olan İleri Akciğer Kanseri İnflamasyon İndeksi (İAKİİ); BKİ, serum albümin ve nötrofil/lenfosit oranını içeren kompozit bir göstergedir. Ulusal Sağlık ve Beslenme İnceleme

Araştırması (NHANES, 2011–2018) verileriyle yapılan bir çalışmada, İAKİİ'nin tahmini glomerüler filtrasyon hızı ile pozitif, tüm nedenlere bağlı mortalite ile negatif ilişkili olduğu gösterilmiştir. Özellikle 3.–5. evre KBY hastalarında İAKİİ'nin böbrek fonksiyonu ve mortalite açısından prognostik değeri daha belirgin bulunmuştur (X. Zhang vd., 2025).

Hemodiyaliz hastalarında malnütrisyon, inflamasyon ve sıvı yüklenmesinin birlikte değerlendirilmesini temel alan Malnütrisyon-İnflamasyon-Sıvı Yüklenmesi Kompleks Sendromu (MİSKS), mortalite riskini güçlü şekilde öngören bütüncül bir yaklaşımdır. Bu sendromda beslenme durumu modifiye kreatinin indeksi, inflamasyon yüksek duyarlılıklı CRP ve sıvı durumu BİA ile değerlendirilmiştir. Üç durumun birlikte varlığı, hemodiyaliz hastalarında en yüksek mortalite riski ile ilişkili bulunmuştur (Tian vd., 2025).

Bu nedenle KBY'li yetişkinlerde diyet öyküsü ve diyete uyumun değerlendirilmesi, SGD, GNRI ve objektif biyokimyasal göstergelerle birlikte çok yönlü bir yaklaşımla ele alınmalı ve beslenmeye bağlı riskler erken dönemde saptanarak uygun müdahaleler planlanmalıdır.

2.5. Kronik Böbrek Yetmezliğinde Beslenme Durumunun Değerlendirilmesinde Yapay Zekâ Teknolojileri

KBY'nin erken dönemde saptanması ve uygun klinik müdahalelerin zamanında başlatılması, hastalık progresyonunun yavaşlatılması açısından kritik öneme sahiptir (Ebiaredoh-Mienye vd., 2022). Erken tanı ve zamanında müdahale, KBY progresyonunun yavaşlatılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu noktada, geleneksel klinik değerlendirmelere ek olarak dijital sağlık teknolojilerinin kullanımı giderek artmaktadır (Ebiaredoh-Mienye vd., 2022; Sanmarchi vd., 2023).

Yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesi (MÖ) temelli yaklaşımlar, KBY'nin erken tanısında klinisyenlere destek sağlayan etkili ve maliyet-etkin yöntemler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle çok sayıda klinik ve biyokimyasal verinin birlikte değerlendirilmesi gereken durumlarda, MÖ algoritmaları karmaşık veri örüntülerini analiz ederek tanısal doğruluğu artırabilmektedir. Bu modeller, geleneksel tanı yöntemlerine kıyasla KBY'nin erken evrelerinde daha yüksek duyarlılık sağlayabilmektedir (Wu vd., 2024).

YZ, insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemlerini ifade ederken, makine öğrenmesi (MÖ), YZ'nin bir alt alanı olarak sistemlerin deneyimden öğrenerek performansını geliştirmesini amaçlamaktadır. MÖ; denetimli, denetimsiz ve derin öğrenme yaklaşımlarını içermekte olup, sağlık verilerinde karmaşık örüntülerin saptanmasında yaygın biçimde kullanılmaktadır (Simeri vd., 2025).

KBY tanısında MÖ algoritmaları; laboratuvar verileri, demografik özellikler ve klinik parametreleri birlikte analiz ederek geleneksel yöntemlerle fark edilmesi güç olan erken değişiklikleri saptayabilmektedir. Bilgi kazancı temelli özellik seçimi ile maliyet duyarlı AdaBoost algoritmasının birlikte kullanıldığı bir çalışmada, sınırlı sayıda klinik parametre ile KBY tanısında %99,8 doğruluk, %100 duyarlılık ve %99,8 özgüllük elde edilmiştir (Ebiaredoh-Mienye vd., 2022).

Destek vektör makineleri kullanılarak yapılan bir çalışmada, klinik değişkenlere dayalı sınıflandırma ile %93'ün üzerinde doğruluk, duyarlılık ve özgüllük sağlandığı bildirilmiştir

(Amirgaliyev vd., 2018). Başka bir çalışmada, derin sinir ağları kullanılarak KBY tahmininde %99,6 doğruluk oranına ulaşıldığı gösterilmiştir (Chittora vd., 2021). Random Forest algoritmasının erken evre KBY tanısında %99,75 doğruluk sağladığı bildirilmiş olup, bu sonuç MÖ'nün tarama amaçlı kullanım potansiyelini desteklemektedir (Nishat vd., 2021). Lojistik regresyon, Naive Bayes ve Random Forest modellerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada ise MÖ yöntemlerinin geleneksel prognostik yaklaşımlarla benzer öngörü gücüne sahip olduğu gösterilmiştir (Bai vd., 2022).

Bir sistematik derlemede, MÖ modellerinin KBY'de en sık prognoz tahmini ve tanı amaçlı kullanıldığı; ancak çalışmalar arasında performans ölçütlerinin heterojen olduğu ve klinik doğrulamanın sınırlı kaldığı belirtilmiştir. İncelenen 68 çalışmadan yalnızca 6'sının gerçek klinik ortamda test edildiği rapor edilmiştir (Sanmarchi vd., 2023).

KBY hastalarında YZ tabanlı sistemlerin hasta-özgü klinik verilere dayalı olarak beslenme önerilerini kişiselleştirdiği, hiperkalemi gibi komplikasyonları azaltabildiği ve diyete uyumu artırdığı bildirilmiştir. Bu sistemlerin potasyum, fosfor ve albümin gibi parametrelerdeki sapmaları erken dönemde işaretleyerek proaktif bakım sağladığı belirtilmiştir. Buna karşın, ChatGPT gibi üretken YZ araçlarının kültürel olarak uygun öğün planları oluşturabilmesine rağmen, protein ve potasyum hesaplamalarında %54'e varan sapmalar gösterebildiği rapor edilmiştir (Palomares vd., 2025).

YZ uygulamalarının klinikte güvenle kullanılabilmesi için modellerin çeşitli ve temsil edici veri setleriyle eğitilmesi, önyargı riskinin azaltılması ve insan gözetiminin sürdürülmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca veri gizliliği, etik ilkeler ve uluslararası düzenlemelere uyumun kritik önemde olduğu belirtilmiştir (Wu vd., 2024).

3. ÇOCUK BÖBREK HASTALIKLARINDA BESLENME DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çocukluk çağı kronik böbrek yetmezliği (KBY), erişkin popülasyondan farklı etiyolojik ve fizyopatolojik mekanizmalarla seyreden ve nadir hastalıklar grubunda değerlendirilen heterojen bir hasta kohortunu temsil etmektedir (Iatridi vd., 2024). Bu nedenle çocuklarda KBY yönetimi, yalnızca renal fonksiyonların korunmasını değil, büyüme, nörogelişim ve yaşam kalitesini hedefleyen bütüncül ve bireyselleştirilmiş bakım yaklaşımlarını gerektirmektedir (Shaw vd., 2025).

Çocuk KBY hastalarında beslenme değerlendirmesi, yetersiz veya aşırı beslenmeyi tespit ederek erken müdahaleye olanak sağlaması açısından önemlidir. Bu değerlendirmelerin hastaneye yatışlarda veya poliklinik kontrollerinde düzenli olarak yapılması önerilmektedir (McAlister vd., 2020). Bu nedenle KBY'li çocuklarda beslenme taraması mümkün olan en erken dönemde başlatılmalı ve riskli popülasyonlarda tarama sıklığı artırılmalıdır (D. Luo vd., 2025). PEM'in çocuk KBY hastalarında %13,3 ile %46,7 arasında değişen oranlarda görüldüğünü ve bu tablonun ileri evre KBY hastalarında enfeksiyona bağlı hastaneye yatış riskini anlamlı derecede artırdığını (P=0,008) ortaya konulmuştur (Mulla vd., 2025).

Beslenme durumunun değerlendirilmesi, çocuklarda KBY evre 1'den 5D'ye kadar beslenme izlemesinin bir parçası olup genellikle eğitimli diyetisyenler tarafından yürütülmektedir. Beslenme müdahaleleri planlanırken ve uygulanırken hastaların bilgi düzeyi, inançları, tutumları, davranışları, beslenme alışkanlıkları, yiyeceğe erişimi, diyet kalitesi, depresyon ve bilişsel fonksiyon gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Mak vd., 2023).

3.1. Çocuk Böbrek Hastalıklarında PEM, Klinik Risk Faktörleri, Antropometrik Ölçümler ve Biyokimyasal Parametreler

Antropometrik değerlendirmelerin temelinde övolemik (kuru) ağırlığın belirlenmesi gerekmektedir; çünkü ödem veya sıvı yüklenmesi durumunda ölçülen ağırlık, hastanın gerçek beslenme durumunu maskeleyebilmektedir (Nelms vd., 2021). Boy ölçümü 2 yaş altına kadar yatarak, 2 yaşından sonra ise ayakta yapılmalı; ayakta duramayan çocuklarda ise kulaç genişliği güvenilir bir alternatif ölçüm olarak kullanılmalıdır. Büyüme hızı, özellikle 1-3 yaş arası evre 3b-5 hastalarında her 2 ayda bir, diyaliz alan çocuklarda ise her ay rutin olarak izlenmelidir (Shaw vd., 2025). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) veya ülkeye özgü güncel büyüme eğrilerine işlenmeli; standart sapma skorları (SDS) hesaplanarak büyüme potansiyeli düzenli bir şekilde olarak takip edilmelidir (Nelms vd., 2021). 2-3 yaşına kadar olan çocuklarda baş çevresi ölçümü, nörogelişimsel takibin bir parçası olarak 4-8 hafta aralıklarla rutin izleme dahil edilmelidir. İzlem sıklığı; bebeklerde ve evre 3b-5D hastalarında her 6-8 haftada bir, daha büyük çocuklarda ise evreye göre 3-6 ayda bir olacak şekilde planlanmalıdır (Mak vd., 2023).

Çocuğun mevcut boy persentili, ebeveyn boy ortalamasından hesaplanan "hedef boy" persentili ile karşılaştırılarak büyüme potansiyelinden sapmalar erkenden saptanmalıdır (Mak vd., 2023). BKİ hesaplanırken, boyu 3. persentilin altında olan çocuklarda yanlış sonuçları önlemek için "boy yaşına göre BKİ" kullanılması, yağsız doku kütlesi ve adipozite (yağlanma) durumunu değerlendirmede daha yüksek doğruluk sağlamaktadır (Nelms vd., 2021).

Geleneksel olarak KBY'de odak noktası PEM ve zayıflık olsa da son yıllarda bu popülasyonda obezite prevalansında belirgin bir artış gözlenmektedir. Avrupa genelindeki geniş bir kohortta çocukların %20,8'inin fazla kilolu, %12,5'inin ise obez olduğu saptanmıştır (Shaw vd., 2025). KBY evresi ilerledikçe PEM prevalansının artışı ($P = 0,04$) ve buna eşlik eden kronik inflamasyon, insülin direnci ve asidoz gibi faktörler hem zayıflık hem de sarkopenik obezite riskini eş zamanlı olarak artırmaktadır (Mulla vd., 2025; Shen vd., 2024). Ayrıca PEM, KBY'li çocuklarda %13,3 ile %52 arasında değişen yüksek prevalans oranlarına sahip olup, ileri evre hastalarda enfeksiyona bağlı hastaneye yatış (EBHY) riskini anlamlı düzeyde artırmaktadır (Mulla vd., 2025; Sravani vd., 2025).

PEM tanısında; düşük vücut ağırlığı (BKİ < 5. persentil), azalmış kas kütlesi (kol çevresi < 5. persentil), biyokimyasal göstergeler (albümin < 3,8 g/dL), iştahsızlık ve boy kısalığı (boy < 3. persentil) temel kriterler olarak kullanılmaktadır (Abraham vd., 2014; Sravani vd., 2025). PEM ve düşük BKİ değerleri, çocuklarda tekrarlayan enfeksiyon riskini yaklaşık iki kat artırmakta, enfeksiyon kaynaklı mortalitenin en önemli öngördürücüsü olarak kabul edilmektedir (Sravani vd., 2025). Ayrıca GFR değeri 30 mL/dk/1,73 m^2 seviyesinin altında olan çocuklarda PEM riski yaklaşık 5 kat artmakta ve bu tablo eGFR düşüş hızını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde

hızlandırmaktadır (P < 0,001) (Shen vd., 2024). Biyokimyasal bir araç olarak nPCR, özellikle hemodiyaliz alan adölesanlarda beslenme durumunu izlemek için valide edilmiştir (D. Luo vd., 2025).

Kas kütlesindeki azalma PEM'in en tutarlı bulgusu olup, el kavrama gücü (EKG) yatak başı değerlendirmede güvenilir bir araçtır; KBY'li çocukların %69,8'inde EKG değerleri 10. persentilin altında seyretmektedir (Bakr vd., 2018; Mulla vd., 2025). EKG değerlerinin boy uzunluğu ile pozitif korelasyon göstermesi, kas gücünün fiziksel gelişimle paralelliğini vurgulamaktadır (Bakr vd., 2018). ÜOKÇ ve kol kas çevresi (KKÇ), özellikle diyaliz hastalarında PEM varlığını ve diyetle yetersiz enerji alımını saptamada ikincil ama etkili araçlardır (Mak vd., 2023).

3.2. Çocuk Böbrek Hastalıklarında Diyet Kalitesi ve Tarama Araçları

KBY'li çocukların diyetleri incelendiğinde, enerji alımının genellikle yeterli olduğu ancak protein ve sodyum tüketiminin önerilenin çok üzerinde (sırasıyla %336 ve %569) seyrettiği görülmektedir. Bu hastalar sıklıkla vitamin A, C, folat, demir ve kalsiyum gibi mikro besin öğelerinde yetersizlik yaşamakta, sağlıklı kontrollere göre daha fazla dışarıdan hazır gıda tüketmektedirler (Lindeback vd., 2024). Diyet asit yükünün (DAL skoru) yüksek olması, protein katabolizmasını ve kas yıkımını tetikleyerek serum albümini ve GFR değerlerinde düşüşle ilişkilendirilmiştir (P < 0,05) (Depboylu vd., 2023). Beslenme yetersizlikleri sadece fiziksel gelişimi değil, aynı zamanda nörogelişimi de olumsuz etkilemekte; özellikle erken yaşta başlayan diyaliz süreçlerinde agresif beslenme desteğinin bilişsel sonuçları iyileştirdiği bildirilmektedir (Shaw vd., 2025). Periton diyalizi alan çocuklarda kreatinin ve üre konsantrasyonları hemodiyaliz hastalarına göre daha yüksek seyredebilmekte, bu durum diyalize özgü bireysel diyet müdahalelerini zorunlu kılmaktadır (Pontón-Vázquez vd., 2017).

Sistatin C, tüm çekirdekli hücrelerden sabit hızda salınan, glomerülden serbestçe filtre edilen ve tübüler sekresyona uğramayan bir biyobelirteçtir. Kas kütlesi, yaş, cinsiyet ve diyet gibi değişkenlerden etkilenen kreatinine kıyasla daha güvenilir olduğu gösterilmektedir. Özellikle sistatin C temelli eGFR denklemlerinin erken evre KBY, ABY ve neonatal dönemde altın standart GFR ölçümleriyle daha güçlü korelasyon sergilediğini ve tanısal doğruluğunun daha yüksek olduğunu ortaya koyulmaktadır. Ancak yüksek maliyet, sınırlı laboratuvar erişimi ve pediatrik popülasyonda büyük ölçekli doğrulayıcı çalışmaların eksikliği, sistatin C'nin rutin klinik kullanımını kısıtlayan başlıca faktörlerdir (Skidmore vd., 2024).

Beslenme durumunun objektif değerlendirilmesinde 3 günlük diyet günlüğü altın standart olarak kabul edilmekte, iştahın "çok iyi" dışındaki her seviyesi artmış hastaneye yatış riski ile ilişkilendirilmektedir (D. Luo vd., 2025). Beslenme Odaklı Fizik Muayene, kas yıkımı ve deri altı yağ kaybını saptamak için her seviyedeki sağlık hizmetinde diyetisyenler ve hekimler tarafından kullanılmalıdır (Mak vd., 2023). DEXA ölçümleri yağsız vücut kütlesini saptamada yüksek hassasiyete sahip olsa da rutin klinik kullanımda radyasyon riski ve yüksek maliyet nedeniyle ikincil planda kalmaktadır (Mak, 2024).

Çocuklarda hastane yatışı sırasında malnütrisyon riskini belirlemek amacıyla PNRS (Nutrisyonel Risk Skoru), SGNA (Subjektif Küresel Beslenme Değerlendirmesi), STAMP (Pediatride Malnütrisyonun değerlendirilmesi için Tarama Aracı), PYMS (Çocuk Yorkhill

Malnütrisyon Skoru), STRONGkids (Büyüme ve Beslenme Bozulma Riskini Tarama Yöntemi) ve PNST (Pediatrik Beslenme Tarama Aracı) gibi çeşitli tarama araçları geliştirilmiş olup bu testler genel olarak besin alımı, antropometrik ölçümler, hastalık durumu ve klinik bulgulara dayanmaktadır. Her bir araç, farklı yaş grupları ve klinik koşullar için pratiklik, duyarlılık ve uygulanabilirlik açısından avantajlar sunmakla birlikte; zaman alıcı olmaları, subjektif değerlendirmeler içermeleri veya sınırlı parametre kullanmaları gibi bazı kısıtlılıklara sahiptir (Aksu, 2022). Beslenme durumunun değerlendirilmesinde kullanılan SGNA diyaliz alan çocukların önemli bir kısmında orta veya ağır malnütrisyon saptasa da objektif antropometrik ölçümlerle uyumunun sınırlı olduğu bildirilmektedir (Iyengar vd., 2022). Bu nedenle diyet öyküsü alınırken 24 saatlik hatırlatma, 3–7 günlük besin kayıtları ve beslenme sıklık anketlerinin birlikte kullanılması en güvenilir yaklaşım olarak önerilmektedir (McAlister vd., 2020; Shaw vd., 2020).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Mevcut literatür, böbrek hastalıklarında beslenme durumunun hem destekleyici bir unsur hem de hastalığın seyri, prognozu ve yaşam kalitesi üzerinde belirleyici bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır. Hastalık ilerledikçe kas kütlesi ve yağ dokusunda meydana gelen kayıplar, inflamatuar yükün artışı ve sarkopenik obezitenin yaygınlaşması; antropometrik ölçümler, vücut kompozisyonu göstergeleri ve biyokimyasal belirteçlerin birlikte değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda beslenme durumunun düzenli, objektif ve kapsamlı biçimde izlenmesi, enerji ve protein gereksinimlerinin doğru belirlenmesine, protein-enerji malnütrisyonunun erken saptanmasına ve uygun beslenme müdahalelerinin zamanında planlanmasına olanak sağlamaktadır.

YZ ve MÖ tabanlı yaklaşımlar, KBY'de erken tanı, risk sınıflaması ve hasta izleminde önemli bir potansiyel sunarak klinik karar süreçlerini destekleyici araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin rutin klinik uygulamalara güvenli biçimde entegre edilebilmesi için klinik doğrulama çalışmalarının artırılması, farklı popülasyonlarda genellenebilirliğin test edilmesi ve etik ile veri güvenliğine ilişkin çerçevelerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, KBY'li bireylerde beslenme durumunun antropometri, vücut kompozisyonu, besin alımı ve metabolik parametreleri kapsayan bütüncül bir yaklaşımla; multidisipliner ekipler ve yenilikçi dijital çözümler eşliğinde değerlendirilmesi, hastalık progresyonunun yavaşlatılması, mortalitenin azaltılması ve hasta merkezli bakımın güçlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

Abdissa, D. (2020). Purposeful Review to Identify Risk Factors, Epidemiology, Clinical Features, Treatment and Prevention of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology. *International Journal of Nephrology and Renovascular Disease*, *13*, 367-377. https://doi.org/10.2147/IJNRD.S283161

Abraham, A. G., Mak, R. H., Mitsnefes, M., White, C., Moxey-Mims, M., Warady, B., & Furth, S. L. (2014). Protein energy wasting in children with chronic kidney disease. *Pediatric Nephrology*, *29*(7), 1231-1238. https://doi.org/10.1007/s00467-014-2768-9

Aksu, H. (2022). Beslenme Tarama Araçları. *Izmir Democracy University Health Sciences Journal*, *5*(1), 87-105. https://doi.org/10.52538/iduhes.1025013

Amirgaliyev, Y., Shamiluulu, S., & Serek, A. (2018). Analysis of Chronic Kidney Disease Dataset by Applying Machine Learning Methods. *2018 IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, 1-4. https://doi.org/10.1109/ICAICT.2018.8747140

Annunziata, G., Caprio, M., Verde, L., Carella, A. M., Camajani, E., Benvenuto, A., Paolini, B., De Nicola, L., Aucella, F., Bellizzi, V., Barberi, S., Grassi, D., Fogacci, F., Colao, A., Cicero, A. F. G., Prodam, F., Aimaretti, G., Muscogiuri, G., & Barrea, L. (2024). Nutritional assessment and medical dietary therapy for management of obesity in patients with non-dialysis chronic kidney disease: A practical guide for endocrinologist, nutritionists and nephrologists. A consensus statement from the Italian society of endocrinology (SIE), working group of the club nutrition–hormones and metabolism; the Italian society of nutraceuticals (SINut), club ketodiets and nutraceuticals "KetoNut-SINut"; and the Italian society of nephrology (SIN). *Journal of Endocrinological Investigation*, *47*(12), 2889-2913. https://doi.org/10.1007/s40618-024-02446-8

Avesani, C. M. (2023). Kronik böbrek hastalığında (KBH) beslenme desteği (Prof. Dr. O. Demirkıran, Çev.). Böbrek Hastalıklarında Nütrisyon. *Karolinska Enstitüsü, Baxter Novum, Topik 15, Modül 15.2*. https://kepan.org.tr/files/M15.2%20Kronik%20bo%CC%88brek%20hastal%C4%B1g%CC%86%C4%B1nda%20n%C3%BCtrisyon%202023.pdf

Bai, Q., Su, C., Tang, W., & Li, Y. (2022). Machine learning to predict end stage kidney disease in chronic kidney disease. *Scientific Reports*, *12*(1), 8377. https://doi.org/10.1038/s41598-022-12316-z

Bakr, A. M. A. E. B., Hasaneen, B. M., & Bassiouni, D. A. H. (2018). Assessment of Nutritional Status in Children With Chronic Kidney Disease Using Hand Grip Strength Tool. *Journal of Renal Nutrition*, *28*(4), 265-269. https://doi.org/10.1053/j.jrn.2017.12.007

Bellafronte, N. T., de Queirós Mattoso Ono, A., & Chiarello, P. G. (2021). Sarcopenic Obesity in Chronic Kidney Disease: Challenges in Diagnosis Using Different Diagnostic Criteria. *Medical Principles and Practice*, *30*(5), 477-486. https://doi.org/10.1159/000517597

Bellafronte, N. T., Diani, L. M., Vega-Piris, L., Cuadrado, G. B., & Chiarello, P. G. (2021). Comparison between dual-energy x-ray absorptiometry and bioelectrical impedance for body composition measurements in adults with chronic kidney disease: A cross-sectional, longitudinal, multi-treatment analysis. *Nutrition*, *82*, 111059. https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.111059

Bellafronte, N. T., Sizoto, G. R., Vega-Piris, L., Chiarello, P. G., & Cuadrado, G. B. (2020). Bed-side measures for diagnosis of low muscle mass, sarcopenia, obesity, and sarcopenic obesity in patients with chronic kidney disease under non-dialysis-dependent, dialysis dependent and kidney transplant therapy. *PLOS ONE*, *15*(11), e0242671. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242671

Bhat, P. R., Urooj, A., & Nalloor, S. (2022). Changes in body composition in relation to estimated glomerular filtration rate and physical activity in predialysis chronic kidney disease. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, *8*(4), 305-313. https://doi.org/10.1002/cdt3.45

Chao, C.-T., Kovesdy, C. P., & Merchant, R. A. (2025). Sarcopenia, sarcopenic obesity, and frailty in individuals with chronic kidney disease: A comprehensive review. *Korean Journal of Nephrology*. https://doi.org/10.23876/j.krcp.24.207

Chen, L., Yan, M., Li, J., Zhao, X., Zeng, L., Gao, Z., Jiang, H., & Wei, L. (2025). Association of geriatric nutritional risk index with renal prognosis and all-cause mortality among older patients with chronic kidney disease: A secondary analysis of CKD-ROUTE study. *Renal Failure*, *47*(1), 2449720. https://doi.org/10.1080/0886022X.2025.2449720

Chittora, P., Chaurasia, S., Chakrabarti, P., Kumawat, G., Chakrabarti, T., Leonowicz, Z., Jasiński, M., Jasiński, Ł., Gono, R., Jasińska, E., & Bolshev, V. (2021). Prediction of Chronic Kidney Disease—A Machine Learning Perspective. *IEEE Access*, *9*, 17312-17334. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3053763

Collaborators, G. 2013 M. and C. of D. (2015). Global, regional, and national age–sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990–2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, *385*(9963), 117-171. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(14)61682-2

Depboylu, G. Y., Kaner, G., Simsek, O. O., Turan, K. N., & Demir, B. K. (2023). Dietary acid load in children with chronic kidney disease: Its association with nutritional status and health-related quality of life. *Pediatric Nephrology*. https://doi.org/10.1007/s00467-023-05991-1

Di Mario, F. (2023). Akut böbrek hasarı (Prof. Dr. D. Memiş, Çev.). Böbrek Hastalıklarında Nütrisyon. *Parma University Medical School, Topik 15, Modül 15.1.*

https://kepan.org.tr/files/M15.1%20Akut%20b%C3%B6brek%20hasar%C4%B1%202023.pdf

Duarte, M. P., Almeida, L. S., Neri, S. G. R., Oliveira, J. S., Wilkinson, T. J., Ribeiro, H. S., & Lima, R. M. (2024). Prevalence of sarcopenia in patients with chronic kidney disease: A global systematic review and meta-analysis. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, *15*(2), 501-512. https://doi.org/10.1002/jcsm.13425

Ebiaredoh-Mienye, S. A., Swart, T. G., Esenogho, E., Mienye, I. D., Ebiaredoh-Mienye, S. A., Swart, T. G., Esenogho, E., & Mienye, I. D. (2022). A Machine Learning Method with Filter-Based Feature Selection for Improved Prediction of Chronic Kidney Disease. *Bioengineering*, *9*(8). https://doi.org/10.3390/bioengineering9080350

Fiaccadori, E., Sabatino, A., Barazzoni, R., Carrero, J. J., Cupisti, A., Waele, E. D., Jonckheer, J., Singer, P., & Cuerda, C. (2021). ESPEN guideline on clinical nutrition in hospitalized patients with acute or chronic kidney disease. *Clinical Nutrition*, *40*(4), 1644-1668. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.01.028

Franco, B. B., Hopman, W. M., Lamarche, M. C., & Holden, R. M. (2022). Protein energy wasting and long-term outcomes in nondialysis dependent chronic kidney disease. *Journal of Renal Care*, *48*(1), 14-23. https://doi.org/10.1111/jorc.12378

Han, Q., Zhang, R., Wu, J., He, F., Qing, F., Li, W., Chen, C., & Yang, Q. (2024). Cross-sectional relationship between dietary protein intake, energy intake and protein energy wasting in chronic kidney disease patients. *British Journal of Nutrition*, *132*(3), 309-314. https://doi.org/10.1017/S0007114524001041

Huang, J., Hao, J., Luo, H., Chen, L., Luo, H., Liu, H., Xu, Y., & Wang, P. (2025). Construction of a C-reactive protein-albumin-lymphocyte index-based prediction model for all-cause mortality in patients on maintenance hemodialysis. *Renal Failure*, *47*(1), 2444396. https://doi.org/10.1080/0886022X.2024.2444396

Iatridi, F., Carrero, J. J., Cornec-Le Gall, E., Kanbay, M., Luyckx, V., Shroff, R., & Ferro, C. J. (2024). KDIGO 2024 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease in Children and Adults: A commentary from the European Renal Best Practice (ERBP). *Nephrology Dialysis Transplantation*, *40*(2), 273-282. https://doi.org/10.1093/ndt/gfae209

Ikizler, T. A., Burrowes, J. D., Byham-Gray, L. D., Campbell, K. L., Carrero, J.-J., Chan, W., Fouque, D., Friedman, A. N., Ghaddar, S., Goldstein-Fuchs, D. J., Kaysen, G. A., Kopple, J. D., Teta, D., Wang, A. Y.-M., & Cuppari, L. (2020). KDOQI Clinical Practice Guideline for Nutrition in CKD: 2020 Update. *American Journal of Kidney Diseases*, *76*(3), S1-S107. https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2020.05.006

Iyengar, A., Ashok, J. M. R., & Vasudevan, A. (2022). Subjective Global Nutritional Assessment [SGNA] in Children on Chronic Dialysis- A Prospective Observational Study. *Indian Journal of Nephrology*, *32*(4), 334. https://doi.org/10.4103/ijn.ijn_340_21

Kang, D., Youn, S., Min, J. W., & Ko, E. J. (2025). Nutritional Status Evaluation and Intervention in Chronic Kidney Disease Patients: Practical Approach. *Nutrients*, *17*(20), 3264. https://doi.org/10.3390/nu17203264

Kovesdy, C. P. (2022). Epidemiology of chronic kidney disease: An update 2022. *Kidney International Supplements*, *12*(1), 7-11. https://doi.org/10.1016/j.kisu.2021.11.003

Kumahor, E. K. (2023). The biochemical basis of renal diseases. İçinde *Current trends in the diagnosis and management of metabolic disorders* (ss. 185-200). CRC Press. https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003384823-11/biochemical-basis-renal-diseases-elikem-kwami-kumahor

Kung, C.-W., & Chou, Y.-H. (2023). Acute kidney disease: An overview of the epidemiology, pathophysiology, and management. *Kidney Research and Clinical Practice*, *42*(6), 686-699. https://doi.org/10.23876/j.krcp.23.001

Levey, A. S., Titan, S. M., Powe, N. R., Coresh, J., & Inker, L. A. (2020). Kidney Disease, Race, and GFR Estimation. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, *15*(8), 1203. https://doi.org/10.2215/CJN.12791019

Li, Z., Zhen ,Tao, Zhao ,Yong, & and Zhang, J. (2023). Development and assessment of a nutrition literacy scale for patients with end-stage kidney disease undergoing dialysis and its correlation with quality of life. *Renal Failure*, *45*(1), 2162417. https://doi.org/10.1080/0886022X.2022.2162417

Lindeback, R., Abdo, R., Schnabel, L., Jambre, R. L., Kennedy, S. E., Katz, T., Ooi, C. Y., & Lambert, K. (2024). Does the Nutritional Intake and Diet Quality of Children With Chronic Kidney Disease Differ From Healthy Controls? A Comprehensive Evaluation. *Journal of Renal Nutrition*, *34*(4), 283-293. https://doi.org/10.1053/j.jrn.2023.12.002

Luo, D., Liu, L., Zhang, S., Guan, Y., & He, J. (2025). Nutritional management of chronic kidney disease in children: A best evidence summary. *International Urology and Nephrology*. https://doi.org/10.1007/s11255-025-04802-w

Luo, Y., Huang, H., Wang, Q., Lin, W., Duan, S., Zhou, J., Huang, J., Zhang, W., Zheng, Y., Tang, L., Cao, X., Yang, J., Zhang, L., Wang, Y., Wu, J., Cai, G., Dong, Z., & Chen, X. (2023). An Exploratory Study on a New Method for Nutritional Status Assessment in Patients with Chronic Kidney Disease. *Nutrients*, *15*(11), 2640. https://doi.org/10.3390/nu15112640

MacLaughlin, H. L., Friedman, A. N., & Ikizler, T. A. (2022). Nutrition in Kidney Disease: Core Curriculum 2022. *American Journal of Kidney Diseases*, *79*(3), 437-449. https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2021.05.024

Mak, R. H. (2024). Protein energy wasting in children with chronic kidney disease: Is lean body mass by DEXA a key diagnostic biomarker? *Pediatric Nephrology*, *39*(5), 1323-1326. https://doi.org/10.1007/s00467-023-06261-w

Mak, R. H., Iyengar, A., & Wang, A. Y.-M. (2023). Nutrition Management for Chronic Kidney Disease: Differences and Special Needs for Children and Adults. *Seminars in Nephrology*, *43*(4), 151441. https://doi.org/10.1016/j.semnephrol.2023.151441

Martins, C. A., do Prado, C. B., Santos Ferreira, J. R., Cattafesta, M., dos Santos Neto, E. T., Haraguchi, F. K., Marques-Rocha, J. L., & Salaroli, L. B. (2023). Conicity index as an indicator of abdominal obesity in individuals with chronic kidney disease on hemodialysis. *PloS one*, *18*(4), e0284059.

McAlister, L., Pugh, P., Greenbaum, L., Haffner, D., Rees, L., Anderson, C., Desloovere, A., Nelms, C., Oosterveld, M., Paglialonga, F., Polderman, N., Qizalbash, L., Renken-Terhaerdt, J., Tuokkola, J., Warady, B., Walle, J. V., Shaw, V., & Shroff, R. (2020). The dietary management of calcium and phosphate in children with CKD stages 2-5 and on dialysis—Clinical practice recommendation from the Pediatric Renal Nutrition Taskforce. *Pediatric Nephrology*, *35*(3), 501-518. https://doi.org/10.1007/s00467-019-04370-z

Mehmood, H. R., Khan, Z., Jahangir, H. M. S., Hussain, A., Elahi, A., & Askari, S. M. H. (2022). Assessment of serum biochemical derangements and associated risk factors of chronic kidney disease. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, *17*(3), 376-383.

Mohsen, I. H., Maaroof, R. J., & HarjanMohsen, A. (2023). Renal Failure, Types, Causes and Etiology: A Review Article. *International Journal of Medical Science and Clinical Research Studies*, *03*(08). https://doi.org/10.47191/ijmscrs/v3-i8-41

Mulla, M. K. K., Deepthi, B., Sravani, M., Krishnasamy, S., & Krishnamurthy, S. (2025). Assessment of Protein Energy Wasting in Children With Chronic Kidney Disease: A Cross-Sectional Study. *Journal of Renal Nutrition*, *35*(6), 718-725. https://doi.org/10.1053/j.jrn.2025.06.009

Naeem, M., Ashraf, A., Safdar, H. M. Z., Khan, M. Q., Rehman, S. U., Iqbal, R., & Ahmad, G. (2020). Biochemical changes in patients with chronic kidney failure in relation to complete blood count and anemia. *IJB*, *16*(1), 267-271.

Nelms, C. L., Shaw, V., Greenbaum, L. A., Anderson, C., Desloovere, A., Haffner, D., Oosterveld, M. J. S., Paglialonga, F., Polderman, N., Qizalbash, L., Rees, L., Renken-Terhaerdt, J., Tuokkola, J., Vande Walle, J., Shroff, R., & Warady, B. A. (2021). Assessment of nutritional status in children with kidney diseases—Clinical practice recommendations from the Pediatric Renal Nutrition Taskforce. *Pediatric Nephrology*, *36*(4), 995-1010. https://doi.org/10.1007/s00467-020-04852-5

Nishat, M. M., Faisal, F., Dip, R. R., Nasrullah, S. M., Ahsan, R., Shikder, F., Asif, M. A.-A.-R., & Hoque, M. A. (2021). A Comprehensive Analysis on Detecting Chronic Kidney Disease by Employing Machine Learning Algorithms. *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, *7*(29), e1-e1. https://doi.org/10.4108/eai.13-8-2021.170671

Palomares, S. M., Ferrara, G., Sguanci, M., Gazineo, D., Godino, L., Palmisano, A., Paderno, A., Vrenna, G., Faraglia, E., Petrelli, F., Cangelosi, G., Gravante, F., & Mancin, S. (2025). The Impact of Artificial Intelligence Technologies on Nutritional Care in Patients With Chronic Kidney Disease: A Systematic Review. *Journal of Renal Nutrition*. https://doi.org/10.1053/j.jrn.2025.06.002

Pontón-Vázquez, C., Vásquez-Garibay, E. M., Hurtado-López, E. F., Serrano, A. de la T., García, G. P., & Romero-Velarde, E. (2017). Dietary Intake, Nutritional Status, and Body

Composition in Children With End-Stage Kidney Disease on Hemodialysis or Peritoneal Dialysis. *Journal of Renal Nutrition*, *27*(3), 207-215. https://doi.org/10.1053/j.jrn.2016.12.007

Sabatino, A. (2023). Hemodiyalizdeki son evre böbrek hastalarında beslenme desteği (ESKD-HD) (Prof. Dr. K. Gündoğan, Çev.). *Böbrek Hastalıklarında Nütrisyon, Topik 15, Modül 15.3. Parma University Hospital.* https://kepan.org.tr/files/M15.3%20Hemodiyaliz%20uygulanan%20son-d%C3%B6nem%20b%C3%B6brek%20hastalar%C4%B1nda%20n%C3%BCtrisyon%20deste%C4%9Fi.pdf

Sahathevan, S., Khor, B.-H., Singh, B. K. S., Sabatino, A., Fiaccadori, E., Daud, Z. A. M., Ali, M. S., Narayanan, S. S., Tallman, D., Chinna, K., Goh, B.-L., Gafor, A. H. A., Ahmad, G., Morad, Z., Khosla, P., Karupaiah, T., & on behalf of the PATCH Study (Malaysia) Investigators. (2020). Association of Ultrasound-Derived Metrics of the Quadriceps Muscle with Protein Energy Wasting in Hemodialysis Patients: A Multicenter Cross-Sectional Study. *Nutrients*, *12*(11), Article 11. https://doi.org/10.3390/nu12113597

Sanmarchi, F., Fanconi, C., Golinelli, D., Gori, D., Hernandez-Boussard, T., & Capodici, A. (2023). Predict, diagnose, and treat chronic kidney disease with machine learning: A systematic literature review. *Journal of Nephrology*, *36*(4), 1101-1117. https://doi.org/10.1007/s40620-023-01573-4

Shaw, V., Anderson, C., Desloovere, A., Greenbaum, L. A., Harshman, L., Nelms, C. L., Pugh, P., Polderman, N., Renken-Terhaerdt, J., Snauwaert, E., Stabouli, S., Tuokkola, J., Vande Walle, J., Warady, B. A., Paglialonga, F., & Shroff, R. (2025). Nutritional management of the child with chronic kidney disease and on dialysis. *Pediatric Nephrology*, *40*(1), 69-84. https://doi.org/10.1007/s00467-024-06444-z

Shaw, V., Polderman, N., Renken-Terhaerdt, J., Paglialonga, F., Oosterveld, M., Tuokkola, J., Anderson, C., Desloovere, A., Greenbaum, L., Haffner, D., Nelms, C., Qizalbash, L., Vande Walle, J., Warady, B., Shroff, R., & Rees, L. (2020). Energy and protein requirements for children with CKD stages 2-5 and on dialysis-clinical practice recommendations from the Pediatric Renal Nutrition Taskforce. *Pediatric Nephrology (Berlin, Germany)*, *35*(3), 519-531. https://doi.org/10.1007/s00467-019-04426-0

Shen, C. L., Liebstein, D., & Fernandez, H. (2024). Malnutrition and protein energy wasting are associated with severity and progression of pediatric chronic kidney disease. *Pediatric Nephrology*, *39*(1), 243-250. https://doi.org/10.1007/s00467-023-06078-7

Shin, J., Hwang, J. H., Han, M., Cha, R.-H., Kang, S. H., An, W. S., Kim, J. C., & Kim, S. H. (2022). Phase angle as a marker for muscle health and quality of life in patients with chronic kidney disease. *Clinical Nutrition*, *41*(8), 1651-1659. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.06.009

Shin, J., Kim, H., Jeon, H. E., Kwon, S., Hwang, J. H., Son, H.-E., Cho, S., Cho, J. M., & Kim, S. H. (2025). Optimizing hemodialysis management using bioelectrical impedance analysis: Emphasizing the significance of the phase angle. *Renal Failure*, *47*(1), 2567037. https://doi.org/10.1080/0886022X.2025.2567037

Simeri, A., Pezzi, G., Arena, R., Papalia, G., Szili-Torok, T., Greco, R., Veltri, P., Greco, G., Pezzi, V., Provenzano, M., & Zaza, G. (2025). Artificial intelligence in chronic kidney diseases: Methodology and potential applications. *International Urology and Nephrology*, *57*(1), 159-168. https://doi.org/10.1007/s11255-024-04165-8

Singh, S., & Bhatta, S. (2018). Biochemical and hematological parameters in chronic kidney disease. *Journal of Manmohan Memorial Institute of Health Sciences*, *4*(1), 4-11. https://doi.org/10.3126/jmmihs.v4i1.21132

Skidmore, M., Spencer, S., Desborough, R., Kent, D., & Bhandari, S. (2024). Cystatin C as a Marker of Kidney Function in Children. *Biomolecules*, *14*(8), 938. https://doi.org/10.3390/biom14080938

Sravani, M., Selvam, S., & Iyengar, A. (2025). Nutritional profile and infection-related hospital admissions in children with chronic kidney disease. *Pediatric Nephrology*, *40*(2), 483-490. https://doi.org/10.1007/s00467-024-06532-0

Tian, R., Chang, L., Cheng, L., Yang, R., & Zhang, H. (2025). Malnutrition-inflammation-fluid overload complex syndrome and all-cause mortality in patients undergoing hemodialysis. *Renal Failure*, *47*(1), 2512405. https://doi.org/10.1080/0886022X.2025.2512405

Torres, F. G., Molina, M., Soler-Majoral, J., Romero-González, G., Chitiva, N. R., Troya-Saborido, M., Rullan, G. S., Burgos, E., Martínez, J. P., Jou, M. U., Cañameras, C., Sadurní, J. R., Vila, A., Bover, J., Torres, F. G., Molina, M., Soler-Majoral, J., Romero-González, G., Chitiva, N. R., … Bover, J. (2022). Evolving Concepts on Inflammatory Biomarkers and Malnutrition in Chronic Kidney Disease. *Nutrients*, *14*(20). https://doi.org/10.3390/nu14204297

Türker, P. F. (2019). Böbrek Hastalıklarında Beslenme Durumunun Saptanması. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, *46*(0), 30-35. https://doi.org/10.33076/2018.BDD.1168

Wilkinson, T. J., Richler-Potts, D., Nixon, D. G. D., Neale, J., & Smith, A. C. (2019). Anthropometry-based Equations to Estimate Body Composition: A Suitable Alternative in Renal Transplant Recipients and Patients With Nondialysis Dependent Kidney Disease? *Journal of Renal Nutrition*, *29*(1), 16-23. https://doi.org/10.1053/j.jrn.2018.04.003

Wu, C.-C., Islam, M. M., Poly, T. N., & Weng, Y.-C. (2024). Artificial Intelligence in Kidney Disease: A Comprehensive Study and Directions for Future Research. *Diagnostics*, *14*(4), 397. https://doi.org/10.3390/diagnostics14040397

Zhang, H., Tao, Y., Wang, Z., & Lu, J. (2019). Evaluation of nutritional status and prognostic impact assessed by the prognostic nutritional index in children with chronic kidney disease. *Medicine*, *98*(34), e16713. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000016713

Zhang, X., Hu, X., Qian, L., Chen, Z., Hua, X., Zhang, D., & Wei, H. (2025). The association between nutritional-inflammatory status and chronic kidney disease prognosis: A population-based study. *Renal Failure*, *47*(1), 2471016. https://doi.org/10.1080/0886022X.2025.2471016

Zoccali, C., Mallamaci, F., Lightstone, L., Jha, V., Pollock, C., Tuttle, K., Kotanko, P., Wiecek, A., Anders, H. J., Remuzzi, G., Kalantar-Zadeh, K., Levin, A., & Vanholder, R. (2024). A new

era in the science and care of kidney diseases. *Nature Reviews Nephrology*, *20*(7), 460-472. https://doi.org/10.1038/s41581-024-00828-y

TİP-2 DİYABETLİ KADINLARDA BESLENME DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hilal BATMAZ SEVİNİR
Okan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
hilalbatmaz@hotmail.com - 0000-0001-6653-226X

Prof. Dr. Fatma Esra GÜNEŞ
Medeniyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
fatmaesra.gunes@medeniyet.edu.tr - 0000-0003-1693-6375

ÖZET

Çağın hastalıkları arasında önemli yeri olan Tip-2 Diabetes Mellitus (T2DM), birçok hastalığın oluşumunda birinci sırada rol oynayan ve dünyada çok yaygın görülen bir hastalıktır. Genellikle genetik zeminde yetersiz ve dengesiz beslenme, stres, obezite ve fiziksel inaktiviteye bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu araştırmanın amacı, T2DM tanılı kadınların beslenme durumlarının saptanmasıdır. Araştırmaya, Kocaeli ilinde bulunan özel bir hastanenin dahiliye polikliniğine başvuran T2DM tanısı almış 49 kadın dahil edilmiştir. Katılımcıların beslenme durumu, kan değerleri ve antropometrik parametreleri değerlendirilmiştir. Çalışmaya katılan kadınların yaş ortalaması 45 ± 8, kilo ortalaması 85,3 ± 14 kg, boy ortalaması 162 ± 6 cm, BKİ ortalaması 32,66 ± 5,48 kg/m^2 olarak belirlenmiştir. Katılımcıların %97'si ideal kilonun üzerindedir. Diyabetli kadınların %98'inin bel çevresine göre abdominal obezite açısından yüksek risk altında olduğu görülmüştür. Kadınların %93,9'u bel/kalça oranı açısından %89,8'i bel/boy oranı açısından yüksek risk altındadır. Katılımcıların %8,2'si ilkokul, %38,8'i ortaokul, %53'ü üniversite mezunu olup, ortalama diyabet yılı 5 ± 5 olarak belirlenmiştir. Yaşadıkları semptomlara bakıldığında katılımcıların %79,6'sında halsizlik, %73,5'inde iştah artışı, %69,4'ünde tatlı krizi, %61,2'sinde hipoglisemi, %44,9'unda sık idrara çıkma, %40,8'inde susama şikayetlerinin olduğu bildirilmiştir. Bireylerin %34,7'si günde 3 öğün ve daha az, %63,3'ü 3-6 öğün arası, %2'si 6 öğün ve daha fazla beslenmektedir. Bireylerin günlük ortalama 1575,3 ± 286,7 kcal enerji, 1598 ± 404 ml su, 17,5 ± 4,4 g lif, 325 ± 126,9 mg kolesterol aldığı görülmüştür. Günlük enerjinin ortalama %37'sinin karbonhidratlardan, %16'sının proteinlerden, %47'sinin yağlardan geldiği gözlenmiştir. Mikro besinlere bakıldığında katılımcıların günlük 70,9 ± 35,8 mg C vitamini, 10 ± 2,3 mg demir, 240,6 ± 59,6 mg magnezyum aldığı görülmüştür. Katılımcıların ortalama açlık kan şekeri 120 ± 26 mg/dl, açlık insülini 14,46 ± 3,94 mg/dl, HbA1c değeri %6,4 ± 0,57, TG değeri 140,62 ± 40,31 mg/dl, LDL değeri 121,88 ± 22,25 mg/dl olarak bulunmuştur. Diyabet süresi ile HbA1c arasında orta düzeyde, pozitif ve anlamlı bir ilişki ($r=0,481$, $p<0,001$), C vitamini alımı ile HbA1c değeri ($r=0,416$, $p=0,003$) arasında orta düzeyde pozitif ve anlamlı bir ilişki**,** C vitamini alımı ile açlık kan şekeri arasında da pozitif ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r=0,316$, $p=0,027$). Açlık insülini ile vücut ağırlığı arasında pozitif ve anlamlı ilişki ($r=0,405$, $p=0,004$), açlık insülini ile BKİ arasında da pozitif ve anlamlı ilişki ($r = 0,34$, $p = 0,017$) olduğu görülmüştür. Bel-boy oranı ile BKİ arasında çok güçlü pozitif bir ilişki ($r=0,863$, $p=0,000$), bel-kalça oranı ile BKİ

arasında anlamlı ve orta düzeyde pozitif bir ilişki saptanmıştır (r=0,513, p=0,000). Ayrıca vücut ağırlığı ile BKİ arasında çok güçlü pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür (r=0,899, p=0,000).

Bu çalışmada, katılımcıların çoğunun ideal kilonun üzerinde olduğu ve dengesiz makro besin ögesi dağılımı, yetersiz lif tüketimi ve yüksek yağ tüketimine sahip olduğu görülmektedir. Diyabetin yönetiminde kişiye özgü beslenme programlarının oluşturulması ve takibinin yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Diyabetli Kadınlar, Beslenme durumu, Besin Tüketimi, Biyokimyasal Bulgular

1. GENEL BİLGİLER

Tip-2 diabetes mellitus (T2DM), genellikle insülin direnci varlığıyla ortaya çıkan ve zamanla ilerleyen pankreatik beta hücre hasarı ile karakterize edilen metabolik bir hastalıktır (Lu vd., 2024). Hastalık yalnızca glukoz metabolizma bozukluğuyla kalmayıp aynı zamanda lipid ve protein metabolizmalarını da etkileyen endokrin bir bozukluktur (Prentki ve Nolan, 2006). T2DM'deki kronik hiperglisemi hem mikrovasküler hem de makrovasküler komplikasyonlara yol açabilir. Bu yüzden klinik önemi gittikçe artmaktadır (Bagry vd., 2024). Bunlar arasında en çok karşımıza çıkan mikrovasküler komplikasyonlar; retinopati, nefropati, nöropati gibi hasarlardır. Karşılaşılan makrovasküler komplikasyonlara bakıldığında ise karşımıza en çok koroner arter hastalığı, serebrovasküler hastalık ve periferik arter hastalığı gibi komplikasyonlar çıkmaktadır (Dal canto vd., 2019). T2DM'nin komplikasyonlarının azaltılmasında erken tanı, yaşam tarzı değişiklikleri ve kişiye uygun tıbbi beslenme tedavisi oldukça önemlidir (Ling ve Rönn, 2019).

Bu hastalığın hem bireysel hem de küresel yükü oldukça fazladır. Bu yüzden bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilmektedir (WHO, 2022; Zheng vd., 2018). Hastalığın küresel yükünü azaltmak için beslenme, fiziksel aktivite, obezite yönetimi ve erken tarama programları önem taşımaktadır (ADA, 2024).

Tıbbi beslenme tedavisi (TBT), T2DM tanısı alınmasından itibaren hastalığın yönetiminde uygulanması gereken temel bir bileşen olarak vurgulanmaktadır (ADA, 2024). Başarılı bir TBT için bireye özgü metabolik ihtiyaçlar, beslenme alışkanlıkları, kültürel faktörler, sosyoekonomik düzey, fiziksel aktivite ve medikal tedavi planı göz önünde bulundurulmalıdır (Davies vd., 2018). Kişiye özel beslenme planı, düzenli fiziksel aktivite ve ağırlık kontrolü gibi yaşam tarzı değişiklikleri diyabetin ortaya çıkarabileceği makro ve mikro komplikasyonların önlenmesi açısından önemlidir (Evert vd., 2019; Tegegne vd., 2024). Bu nedenle tek tip bir evrensel diyet yerine, kişiye özel, makro besin dağılımı kanıta dayalı ve sürdürülebilir beslenme programları tercih edilmektedir (DNSG, 2023).

Bu çalışmanın amacı T2DM tanısı almış kadınların biyokimyasal ve antropometrik verilerinin belirlenerek beslenme durumlarının değerlendirilmesidir.

2. MATERYAL ve METOD

Araştırmanın evreni olarak, Kocaeli ilinde bulunan özel bir hastanenin dahiliye polikliniğine başvuran hastalar kabul edilmiştir. Örneklem olarak Haziran 2025 ile Ağustos 2025 tarihleri arasında, T2DM tanılı 35-65 yaş arası, dahil edilme kriterlerine uyan, gönüllü olarak katılmayı kabul eden 49 kadın hasta çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışma için gerekli etik kurul (22.07.2022/09.2022.1033) ve diğer izinler alınmıştır. Çalışmaya dahil edilme ve hariç tutulma kriterleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1: Çalışmaya dahil edilme ve hariç tutulma kriterleri

Dahil edilme kriterleri	• Kadın olmak • Tip-2 diyabet tanısı almış olup sadece oral antidiyabetik ilaç kullanıyor olmak • 35-65 yaş arası olmak • Araştırmaya katılmaya gönüllü olmak onam formu imzalamak
Hariç tutulma kriterleri	• Gebe ve emzikli olmak • Tanı almış başka endokrin hastalığı olmak

Çalışmanın verileri, konu ile ilgili İngilizce ve Türkçe makale ve bilimsel yayınlar incelenerek araştırmacı tarafından hazırlanmış anket formu ile yüz yüze görüşme yöntemiyle toplanmıştır. Anketin ilk bölümünde katılımcıların demografik bilgileri sorgulayan sorular bulunmaktadır. Anketin ikinci bölümünde sıvı tüketimi, öğün sayısı, kaç yıldır hasta olduğu ve diyabete dair hissedilen komplikasyonlarla ilgili sorular bulunmaktadır. Anketin üçüncü bölümünde katılımcıların antropometrik ölçümlerinin ve kan değerlerinin kaydedileceği formlar bulunmaktadır.

Antropometrik ölçümler; boy uzunluğu (cm), vücut ağırlığı(kg), BKİ değeri (kg/m2), bel çevresi (cm), kalça çevresi (cm), bel/kalça oranı ve bel/boy oranından oluşmaktadır.

BKİ, vücut ağırlığının (kg), boy uzunluğunun metre cinsinden karesine bölünmesiyle hesaplanmıştır (BKİ= kg/m^2). Elde edilen değerler yetişkin BKİ sınıflamasına göre değerlendirilmiştir (WHO, 2023).

Dahiliye polikliniğine başvuran hastalardan rutin olarak istenen kan değerleri hasta dosyalarından alınmış ve kaydedilmiştir. Değerlendirilen kan değerleri açlık kan glukozu, açlık insülini, HbA1C, LDL kolesterol, total kolesterol, TG olarak belirlenmiştir.

Bireylerin besin tüketimlerinin hesaplanması için katılımcılardan 3 günlük besin tüketimi kaydı alınmıştır. Besin tüketim kaydının doğru olması için katılımcılara Yemek ve Besin Fotoğraf Kataloğu (Pekcan vd., 2025) kullanılarak önceden bilgilendirme yapılmıştır.

Katılımcıların besin tüketim durumlarının değerlendirilmesinde Beslenme Bilgi Sistemi (BeBis) Tam Versiyon bilgisayar sistemi kullanılmıştır.

2.1.Verilerin İstatistik Analizi

Araştırmada elde edilen veriler bilgisayar ortamında IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0 istatistik programı aracılığıyla değerlendirilmiştir. Araştırmaya katılan kadınların tanımlayıcı özelliklerinin belirlenmesinde frekans ve yüzde analizlerinden, sürekli değişkenlerin incelenmesinde ortalama ve standart sapma istatistiklerinden faydalanılmıştır. Araştırma değişkenlerinin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek üzere Kurtosis (Basıklık) ve Skewness (Çarpıklık) değerleri incelenmiştir.

Tanımlayıcı özelliklerine göre ölçek düzeylerindeki farklılaşmaların incelenmesinde normal dağılım gösteren değişkenlerde bağımsız örneklem t-testi, tek yönlü varyans analiz testi, normal dağılmayan değişkenlerde ise Mann-Whitney U testi, Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiştir. Sürekli değişkenler arasındaki ilişkiler parametrik olanlar pearson korelasyon testi, parametrik olmayan spearman korelasyon testi aracılığıyla incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katılımcıların demografik bilgileri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Çalışmaya katılanların ortalama yaşı 45 ± 8 yıl, diyabet süreleri ortalama 5 ± 5 yıl olarak saptanmıştır. Çalışmamıza benzer şekilde İran'da 300 diyabetli kadının takip edildiği bir çalışmada da yaş ortalaması 44,5, diyabetli olma yılı ortalama 5,5 yıl olarak bildirilmiştir (Izadkhah vd., 2020). Tayvan'da 135 tip-2 diyabet hastası kadının katıldığı araştırmada, hastaların yaş ortalaması 55, diyabet yılı ortalaması 7,2 yıl olarak gösterilmiştir (Hsu vd., 2020). Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada diyabet hastalığı olan bireylerin yaş ortalaması 57, ortalama diyabet süresi 4,6 yıl olarak belirtilmiştir (İpek, 2008). Toplam 37 diyabet hastası kadının takip edildiği başka bir çalışmada ise kadınların yaş ortalamasının 53,6 olduğu bildirilmiştir (Gulcelik vd., 2009).

Öğrenim düzeylerine göre dağılım incelendiğinde, katılımcıların çoğunluğunun üniversite mezunu (%53,1) olduğu görülmektedir. Üniversite mezunlarını ortaöğretim düzeyinde eğitim alan katılımcılar (%38,8) takip etmektedir. İlköğretim mezunlarının oranı %8,2 ile daha düşüktür. Katılımcıların %63,3'ünü çalışan, %36,7'sini çalışmayanlar oluşturmaktadır. Tayvan'da 135 T2DM'li kadının katıldığı araştırmada, katılımcıların %21,5'u ilkokul, %20,7'si ortaokul, %32,6'sı lise, %25,2'si üniversite eğitim seviyesine sahiptir. Benzer şekilde bu araştırmadaki sonuçlara göre katılımcıların %35'inin çalışmayanlardan, %49'unun meslek sahibi çalışanlardan oluştuğu bildirilmiştir (Hsu vd., 2020). İran'da yapılan bir araştırmada da çalışmamızdan farklı olarak örneklemin %41 i ilkokul, %29'u ortaokul, %16'sı lise, %14'ü üniversite eğitim seviyesine sahipti. Mesleklerine göre bakıldığında %85'inin çalışmayanlar olduğu, %12'sinin üniversite mezunu bir işe sahip olduğu rapor edilmiştir (Izadkhah vd., 2020). Türkiye'de yetişkin diyabetli bireylerle yapılan bir araştırma örnekleminin %45,9'unun ilkokul, %10,4'ünün ortaokul, %20,7'sinin lise, %7,4'ünün üniversite mezunu olduğu, katılımcıların %51,9'unun çalışmayanlar, %23'ünün emekli,

%14'ünün serbest meslek sahibi, %5,2'sinin işçi, %5,2'sinin memur olduğu bildirilmiştir (Kaner vd., 2021). Bu çalışmalara bakıldığında bizim örneklemimizde eğitim seviyesinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Öğün sıklığına ilişkin dağılım incelendiğinde katılımcıların büyük çoğunluğunun günde 3-6 öğün tükettiği (%63,3) belirlenmiştir. Katılımcıların %34,7'si 3 öğün veya daha az öğün tüketirken, yalnızca %2'si günde 6 veya daha fazla öğün tüketmektedir. Türkiye'de yapılan bir çalışmada ara öğün yapma sıklığına bakıldığında diyabetli bireylerin %17,4'ünün günde 1 kez, %46,7'sinin günde 2 kez, %31,5'inin günde 3 kez, %4,4'ünün günde 4 ve üzeri ara öğün yaptığı bildirilmiştir (Kaner vd., 2021). Pakistan'da diyabetli yetişkinlerle yapılan bir araştırmada katılımcıların %13'ünün günde 2 öğün ve daha az, %59,9'unun günde 3 öğün, %27'sinin 3 öğünden fazla tükettiği bildirilmiştir (Rahman vd., 2025). Darıca'da yapılan bir araştırmada katılımcıların %57'4'ünün günde 2 ana öğün tükettiği rapor edilmiştir (Kaynarpunar ve Akman, 2021). Öğün sıklığı metabolik sağlığı potansiyel olarak etkileyebilir. Orta yaşlı ve yaşlı bireylerde yapılan bir çalışmada 3 öğün ve üzeri tüketenlerde 3 öğünden az tüketenlere göre insülin direnci gelişme riski yaklaşık %12 daha düşük bulunmuştur. Bu fayda özellikle erkek, diyabeti olmayan ve obez olmayan (BKI<25 kg/m^2) gruplarda daha belirgindir (Ryu vd., 2025). Yaş aralığı 19-93 olan toplam 6951 yetişkin Kore'linin dahil edildiği KNHANES IV verilerine göre öğün sıklığı arttıkça BKİ ve bel çevresinde anlamlı derecede düşüş görülmüştür. Ancak bu etki kötü beslenenler için değil kaliteli ve sık beslenenler için bildirilmiştir (Kim vd., 2018). Yapılan başka bir çalışmada 2 öğün beslenenlerde glisemik kontrolün daha kötü olduğu bildirilmiştir (Rahman vd., 2025). Buna karşın, yapılan başka bir çalışmada normal BKİ ve fazla kilolu gruplarda öğün sıklığının düşmesiyle T2DM riskinin azaldığı gösterilmiştir (Baheti vd., 2023).

Hastaların diyabetle ilgili yaşadığı semptomlara bakıldığında; katılımcıların %79,6'sında halsizlik, %73,5'inde iştah artışı, %69,4'ünde tatlı krizi, %61,2'sinde hipoglisemi, %44,9'unda sık idrara çıkma, %40,8'inde susama şikayetlerinin olduğu bildirilmiştir. İzmir'deki bir çalışmada benzer şekilde diyabetli bireylerin %53,3'ünün hipoglisemi yaşadığı bildirilmiştir (Kaner vd., 2021). Çalışmamızdan farklı olarak başka bir araştırmada diyabetli bireylerin %13,9'unda halsizlik, %13,9'unda sık idrara çıkma şikayetleri bildirilmiştir (Kumsar vd., 2019). Yeni tanı almış 50 tip-2 diyabetli hasta üzerinde yapılan bir çalışmada katılımcıların %60'ının sık idrara çıkma, %56'sının susama, %50'sinin yorgunluk şikayetleri olduğu bildirilmiştir (Joseph, 2025).

Çizelge 2: Katılımcıların demografik özellikleri

	Ort ± SS	**Median**
Yaş	45 ± 8	
Diyabet yılı	5	2 (1-19)
	n	**%**
Eğitim durumu		
İlköğretim	4	8,2
Ortaöğretim	19	38,8

Üniversite	26	53,1
Çalışma durumu		
Çalışıyor	31	63,3
Çalışmıyor	18	36,7
Diyet yapma durumu		
Evet	20	40,8
Hayır	29	59,2
Öğün sayısı		
3 öğün ve altı	17	34,7
3-6 öğün arası	31	63,3
6 öğün ve üzeri	1	2
Toplam	49	100
Diyabet komplikasyonları*		
Sık idrara çıkma	22	44,9
Susama	20	40,8
İştah artışı	36	73,5
Hipoglisemi	30	61,2
Halsizlik	39	79,6
Tatlı krizi	34	69,4
Diğer	1	2

*Birden fazla seçenek işaretlenmiştir.

Katılımcıları antropometrik ölçümleri Çizelge 3'te gösterilmiştir. Katılımcıların ortalama vücut ağırlığı 85,3 ± 14 kg**,** boy uzunluğu 162 ± 6 cm ve buna bağlı ortalama Beden Kitle İndeksi (BKİ) 32,66 ± 5,48 kg/m² olarak bulunmuştur. Bu değerler, örneklemin genel olarak obezite sınıfında yer aldığını göstermektedir. Bel çevresi 112 ± 13 cm**,** kalça çevresi 115,4 ± 8,8 cm, göğüs çevresi 111 ± 11 cm olup; bel/boy oranı 0,69 ± 0,08 ve bel/kalça oranı 0,97 ± 0,07 değerleri katılımcıların belirgin abdominal obeziteye sahip olduğunu göstermektedir. Benzer olarak, İzmir'de yapılan bir araştırmada, diyabetli kadınların vücut ağırlığı ortalaması 85,8 kg, BKİ ortalaması 35,1 kg/m^2, bel çevresi 107,4 cm, kalça çevresi 118,2 cm, bel/kalça oranı 0,92, bel/boy oranı 0,70 olarak bildirilmiştir (Kaner vd., 2021). Toplam 37 diyabetli kadının takip edildiği bir başka çalışmada da çalışmamıza benzer şekilde hastaların ortalama BKİ değeri 30,2 kg/m^2, ortalama bel çevresi 99,6 cm, bel/kalça oranı 0,90 olarak tespit edilmiştir (Gulcelik vd., 2009). İran'da T2DM'li 53 kadının dahil edildiği bir çalışmada vücut ağırlık ortalaması yaklaşık 72 kg, BKİ ortalaması yaklaşık 30 kg/m^2, bel çevresi ortalaması yaklaşık 94 cm, kalça çevresi ortalaması yaklaşık 107 cm, bel/kalça oranı yaklaşık 0,88 olarak rapor edilmiştir (Motahari vd., 2014). Benzer şekilde Türkiye'de yapılmış diğer bir çalışmada diyabetli kadınların BKİ ortalaması 32,67 kg/m^2, bel çevresi 102 cm, kalça çevresi 107,5 cm, bel/kalça oranı 0,95, bel/boy oranı 0,64 olarak rapor edilmiştir (Güngör vd., 2021). Diyabet hastalığı olan bireylerde yapılan başka bir çalışmada hastaların ortalama bel çevresi 105,71 ± 13 olarak bildirilmiştir (İpek, 2008). Toplam 122 diyabet hastalığı olan kadının dahil edildiği bir çalışmada hastaların BKİ ortalaması 32 kg/m^2 olarak bildirilmiştir (Mahdavi

vd., 2018). Görüldüğü üzere çalışmamızdaki verilerle literatürdeki veriler benzerlik göstermektedir.

BKİ dağılımları incelendiğinde katılımcıların yalnızca %6,1'inin normal kiloda olduğu görülmektedir. Katılımcıların %32,7'si fazla kilolu sınıfında yer almakta; geri kalan büyük çoğunluğu ise obezite kategorilerinde bulunmaktadır. Katılımcıların %26,5'i 1.derece obez, %28,6'sı 2.derece obez ve %6,1'i morbid obez sınıfındadır. Bu dağılım örneklemin önemli ölçüde obez ve yüksek riskli bir gruptan oluştuğunu göstermektedir. Diyabet tanısı almış 30 yaş üstü 132 hastanın takip edildiği bir başka çalışmada katılımcıların yaklaşık %35'i fazla kilolu %15'i obez olarak bildirilmiştir (Ahmmed vd., 2021). Diyabetli kadınlarda beslenme alışkanlıklarının değerlendirildiği bir çalışmada ise kadınların %20'sinin normal ağırlıkta, %44,6'sının obez, %35,4'ünün kilolu, %6,2'sinin 2.derece obez ve %1,5'inin 3.derece obez olduğu bildirilmiştir (Leone vd., 2020). Türkiye'de yapılan bir çalışmadaki diyabetli kadınların %81'inin obez olduğu bildirilmiştir (Kaner vd., 2021).

Bel çevresi ölçümleri incelendiğinde katılımcıların %98'inin bel çevresinin ≥88 cm olduğu görülmüştür. WHO (2024), diyabetli kadınlarda bel çevresinin ≥88 cm olmasını "sağlık riski çok yüksek" kategorisinde değerlendirmektedir. Katılımcıların %2'si yüksek risk grubunda olup, düşük risk grubunda katılımcı bulunmamaktadır. Bu sonuçlar, örneklemde abdominal obezitenin son derece yaygın olduğunu ve kardiyometabolik riskin belirgin derecede arttığını göstermektedir. Yapılan bir çalışmada diyabetli kadınların %91,3'ünün bel çevresinin ≥88 cm olduğu bildirilmiştir. Yüksek bel çevresi obezite açısından risk taşımaktadır (Kaner vd., 2021).

Bel/boy oranı değerlendirildiğinde katılımcıların %89,8'i 0,6 ve üzeri değerlerde olup ciddi derecede artmış abdominal obezite riskine (Ashwell ve Gibson, 2016) sahiptir. Orta risk kategorisinde (0,5–0,6) bulunanların oranı %10,2'dir. Güvenli kabul edilen <0,5 aralığında ise katılımcı bulunmamaktadır. Bu dağılım, bel/boy oranının neredeyse tüm katılımcılarda kritik eşiklerin üzerinde olduğunu göstermektedir. Yapılan bir çalışmada diyabetli kadınların bel/boy oranına bakıldığında %88,9'unun 0,6 ve üzerinde olduğu bulunmuştur (Kaner vd., 2021). Bu oranlar bizim çalışmamıza benzerdir. Bel/kalça oranındaki 0,1 birimlik artışın T2DM riskini 1,63 kat, bel/boy oranındaki 0,1 birimlik artışın T2DM riskini 1,73 kat, vücut yağının %10'luk artışının T2DM riskini 2,05 kat artırdığı bildirilmiştir (Jayedi vd., 2022).

Bel/kalça oranı incelendiğinde katılımcıların %93,9'unun ≥0,85 değerine sahip olduğu görülmektedir; bu durum özellikle kadınlarda kardiyometabolik riskin oldukça yüksek olduğunu ifade eder. Güvenli kabul edilen <0,85 aralığında yer alan katılımcılar yalnızca %6,1'dir. Yapılan bir çalışmada diyabetli kadınların %58,5'inin bel/kalça oranının ≥1 olduğu rapor edilmiştir (Leone vd., 2020). Diyabetli bireylerin diyet kalitesinin ve beslenme durumlarının araştırıldığı bir çalışmada ise kadınların bel/kalça oranı ortalaması 0,88 olarak bildirilmiştir (Şeşen vd., 2023). Başka bir çalışmada diyabetli kadınların ortalama bel/boy oranı 0,70, bel/kalça oranı 0,92, bel/kalça oranına bakıldığında %85,9'unun, bel/boy oranına bakıldığında %88,9'unun sağlık riski yüksek bulunmuştur (Kaner vd., 2021).

Obezite, güçlü bir diyabet öngörücüsüdür. Yapılan bir çalışmada, yüksek riskli bel çevresi olanlarda T2DM riski normal bel çevresine göre %1,89 kat daha yüksek bulunmuştur. BKİ'deki her 1 birimlik artışın T2DM riskini 1,09 kat artırdığı bildirilmiştir. (Mirzamohamadi

vd., 2025). Bir meta-analiz çalışmasının verilerine göre BKİ'deki 5 birimlik artışın T2DM riskini 1,72 kat artırdığı, bel çevresindeki 10 cm'lik artışın T2DM riskini 1,61 kat artırdığı rapor edilmiştir. Sadece BKİ değil aynı zamanda bel çevresi ve diğer santral yağlanma göstergeleri T2DM riskiyle güçlü, lineer ve pozitif ilişkilidir (Jayedi vd., 2022). Kalça çevresindeki her 1 cm artışın T2DM riskinde hafif azalmaya neden olabileceği bildirilmiştir (Mirzamohamadi vd., 2025). Başka bir çalışmada ise kalça çevresindeki 10 cm'lik artışın T2DM riskini 1,11 artırdığı bildirilmiştir. Bel/kalça oranındaki 0,1 birimlik artışın T2DM riskini 1,63 kat, bel/boy oranındaki 0,1 birimlik artışın T2DM riskini 1,73 kat, vücut yağının %10'luk artışının T2DM riskini 2,05 kat artırdığı bildirilmiştir (Jayedi vd., 2022).

Çizelge 3: Katılımcıların antropometrik ölçümleri

	Ort ± ss	
Ağırlık (kg)	85,3 ± 14	
Boy (cm)	162 ± 6	
BKI (kg/m^2)	32,66 ± 5,48	
Bel Çevresi (cm)	112 ± 13	
Kalça çevresi (cm)	115,4 ± 8,8	
Bel/Kalça Oranı	0,97 ± 0,07	
Bel/Boy Oranı	0,69 ± 0,08	
	n	**%**
BKI (kg/m^2) Grupları		
Normal Ağırlık (18,5–24,9 kg/m²)	3	6,1%
Fazla Kilolu (25,0 – 29,9 kg/m²)	16	32,7%
Obezite Sınıf I (30,0 – 34,9 kg/m²)	13	26,5%
Obezite Sınıf II (35,0 – 39,9 kg/m²)	14	28,6%
Morbid obezite (≥ 40,0 kg/m²)	3	6,1%
Bel Çevresi (cm) Grupları		
Sağlık riski düşük (<80 cm)	0	0,0%
Sağlık riski yüksek (80-88 cm)	1	2,0%
Sağlık riski çok yüksek (≥88 cm)	48	98,0%
Bel/Boy Oranı		
<0,5	0	0,0%
0,5-0,6	5	10,2%
≥0,6	44	89,8%
Bel/Kalça Oranı		
0,85<	3	6,1%
≥0,85	46	93,9%
Toplam	49	100

Katılımcıların kan değerleri ile ilgili değerler Çizelge 4'te gösterilmiştir. Açlık kan şekeri ortalaması 120 ± 26 mg/dL, açlık insülini 14,46 ± 3,94 µIU/mL, HbA1c %6,4 ± 0,57 olup glisemik kontrolün genel olarak kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Serum

lipid profili değerlendirildiğinde total kolesterol 208,67 ± 32,58 mg/dL, LDL kolesterol 121,88 ± 22,25 mg/dL, trigliserid (TG) ise 140,62 ± 40,31 mg/dL olarak bulunmuş olup, bu değerler hafif dislipidemi varlığına işaret etmektedir. Toplam 37 T2DM olan ve 32 sağlıklı kadının katıldığı bir çalışmada, diyabetli kadınların ortalama açlık kan şekeri 141,2 ± 35,2 mg/dL, açlık insülini 15,7 ± 7,1 mlU/Ml, Hba1c değeri 7,2 ± 1,6 olarak rapor edilmiştir. Obeziteye eğilimli, kronik diyabetli kadınlarda hem glisemi hem insülin direnci daha fazladır (Gulcelik vd., 2009). İran'da T2DM'li 53 kadının dahil edildiği bir çalışmada açlık kan şekeri ortalaması yaklaşık 158 mg/dl ve açlık plazma insülini yaklaşık 6,5 mlU/ml olarak rapor edilmiştir (Motahari-Tabari vd., 2014). Bir başka çalışmada diyabetli obezlerin açlık glukozu 185 mg/dl, açlık insülini 24,5 mmol/dl, hbA1c ortalaması %8,3 olarak rapor edilmiştir. Diyabetli obezlerde açlık şekeri ve HbA1c değerleri, diyabetsiz obezlere göre belirgin derecede daha yüksek bulunmuştur (Yerlikaya vd., 2013). Türkiye'de 112 diyabetli bireyin dahil edildiği bir çalışmada hastaların ortalama TG düzeyleri 190,53 ± 135,12, HDL seviyeleri 43,61 ± 14,53 olarak bildirilmiştir (İpek, 2008). 37 diyabetli kadınla yapılan bir çalışmada hastaların ortalama LDL değerleri 126,7 mg/dl HDL değerleri 45 mg/dl, TG seviyeleri 165,3, total kolesterol değerleri 200,8 mg/dl olarak bildirilmiştir (Gulcelik vd., 2009). Diğer çalışmalarla kıyaslandığında bizim çalışmamızdaki glisemik değerlerin ve lipid profilinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4: Katılımcıların kan değerleri

Kan Değerleri	Ort ± SS	Median (min-max)	Referans aralık
Açlık Kan Glukozu (mg/dl)	120	115 (84-253)	74- 106
Açlık İnsülini (µIU/mL)	14,46 ± 3,94		2,6- 24,9
HbA1C (%)	6,4	6,30 (5,64-9,19)	4-6
Total kolesterol (mg/dL)	208,67 ± 32,58		0- 200
Serum LDL (mg/dL)	121,88	120,00 (42,00-165,00)	0- 130
Serum TG (mg/dL)	140,62 ± 40,31		0- 150

Katılımcıların günlük makro ve mikro besin ögesi alımları Çizelge 5' te gösterilmiştir. Günlük enerji alımı ortalama 1575,3 ± 286,7 kcal, yağ alımı 82,2 ± 17.8 g**,** karbonhidrat alımı 144,1 ± 37,1 g ve protein alımı 62,3 ± 17,1 g olarak belirlenmiştir. Makro besin dağılımı incelendiğinde; karbonhidrat yüzdesi %36,5 protein yüzdesi %16,5 ve yağ yüzdesi %47 olup yağdan gelen enerjinin diyabetli bireylerde önerilen %25-30 yağ alımı oranının (TUBER,2022) çok üzerinde olduğu görülmektedir. Lif alımı ise ortalama 17,5 ± 4,4 g olup önerilen günlük 14 g/1000 kcal (ADA,2024) önerisinin altında kalmaktadır. Mikro besinlere bakıldığında, C vitamini alımı 70,9 ± 35,8 mg, demir alımı 10 ± 2,3 mg, magnezyum alımı 240,6 ± 59,6 mg olup magnezyum alımı sınır düzeyde görülmektedir. Günlük su tüketimi 1598 ± 404 ml olup önerilen günlük miktarın altında yer almaktadır (ADA, 2024; TUBER,2022). Çalışmamıza benzer şekilde, diyabetli kadın ve erkeklerin takip edildiği bir çalışmada kadın diyabetli hastaların günlük ortalama enerji alımları 1522 kcal, karbonhidrattan gelen enerji oranları %43,2, proteinden gelen enerji oranları %17,2, yağdan gelen enerji olanları %39,4, günlük karbonhidrat tüketimi 162 g, günlük protein tüketimi 63,6 g, günlük yağ tüketimi 67,3 g, doymuş yağdan gelen enerji ortalaması %13,7, günlük ortalama lif alımları 20,6 g olarak rapor

edilmiştir (Kaynarpunar ve Akman, 2021). Başka bir araştırmada ise diyabetli kadınlarda günlük ortalama enerji alımının 1203 kcal, karbonhidrattan gelen enerjinin %42,8, proteinden gelen enerjinin %16,7, yağlardan gelen enerjinin %41,2, günlük karbonhidrat tüketiminin ortalama 118,9 g, protein tüketiminin 47,8 g, yağ tüketiminin 55,6 g, su tüketiminin 713 ml, lif alımının 18,3 g, C vitamini alımının 96,6 mg, demir alımının 8,4 mg, magnezyum alımının 224,8 mg olduğu bildirilmiştir (Kaner vd., 2021). Bu çalışmadaki sonuçlar bizim çalışmamızdakinden farklı olarak daha düşük seviyededir. Türkiye'de yapılmış başka bir araştırmada ise diyabetli kadınların günlük ortalama enerji alımları 2352 kcal, karbonhidrat alımları 285,8 g (%49,88), yağ alımları 87,75 g (%33,19), protein alımları 96,5 g (%17), C vitamini alımları 172,7 mg, demir alımları 11,76 mg, magnezyum alımları 333,81 mg olarak bildirilmiştir (Şeşen vd., 2023). Bu çalışmadaki sonuçların ise çalışmamıza kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek lifli, sebze-meyve ağırlıklı, kaliteli karbonhidrat içeren diyetler daha iyi glisemik kontrol sağlar. Doymuş yağ, rafine karbonhidrat ve yüksek sodyum içeren diyetler HbA1c'nin daha kötü seyretmesi ile ilişkilidir (Leone vd., 2020). Yeterli lif alımı glisemi kontrolünü sağlamada etkilidir (Rahman vd., 2025).

Çizelge 5: Çalışmaya katılanların günlük makro ve mikro besin ögesi alımları

Makro ve mikro besin ögeleri	**Ort ± SS**	**Median**
Kalori (kcal)	1575,3 ± 286,7	
Yağ (g)	82,2 ± 17,8	
Karbonhidrat (g)	144,1 ± 37,1	
Protein (g)	62,3 ± 17,1	
Kolesterol (mg)	325 ± 126,9	
Lif (g)	17,5 ± 4,4	
Karbonhidrat Yüzdesi (%)	36,5 ± 0,7	
Protein Yüzdesi (%)	16 ± 0,3	
Yağ Yüzdesi (%)	47 ± 0,7	
C vitamini (mg)	70,9	65,0 (28,8-168,6)
Demir (mg)	10 ± 2,3	
Magnezyum (mg)	240,6 ± 59,6	
Su Tüketimi (ml)	1598 ± 404	

Katılımcıların eğitim düzeylerine göre kan değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$). Katılımcıların diyabet hastalığına uygun diyet uygulamalarının kan değerleri üzerine pozitif bir etkisinin olmadığı görülmüştür ($p > 0,05$). BKİ verilerine göre karşılaştırıldığında kan değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Bununla birlikte enerji ve besin öğesi alımları, demografik, antropometrik veriler ile kan değerleri arasında ilişkiye bakılmıştır (Çizelge 6). Diyabet yılı ve HbA1c değeri ($r=0,481$ $p<0,05$) ve C vitamini alımı ile HbA1c değeri ($r=0,416$, $p=0,003$) arasında orta düzeyde pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca C vitamini alımı ile açlık kan şekeri arasında da pozitif ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r=0,316$, $p=0,027$). Açlık insülini ile vücut ağırlığı arasında pozitif ve anlamlı ilişki olduğu görülmüştür ($r=0,405$, $p=0,004$). Ayrıca açlık insülini ile BKİ arasında da pozitif ve anlamlı ilişki olduğu görülmüştür ($r = 0,34$, $p = 0,017$). Antropometrik ölçümler incelendiğinde, bel-boy oranı ile BKİ arasında

çok güçlü pozitif bir ilişki bulunmuştur (r=0,863, p=0,000). Benzer şekilde bel-kalça oranı ile BKİ arasında da anlamlı ve orta düzeyde pozitif bir ilişki saptanmıştır (r=0,513, p=0,000). Ayrıca vücut ağırlığı ile BKİ arasında çok güçlü pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür (r=0,899, p=0,000). Bunun dışında kalan değişkenler arasında saptanan ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p> 0,05).

Çizelge 6: Enerji ve besin öğesi alımları, demografik, antropometrik veriler ile kan değerleri arasında ilişki

		HbA1C	Açlık Kan Şekeri	Açlık İnsülini	TG	Total Kolesterol	LDL-K	BKİ
Kalori	**r**	0,016	0,102	-0,095	0,162	-0,053	0,192	-0,135
	p	0,915	0,487	0,516	0,265	0,719	0,185	0,353
Lif	**r**	0,164	0,04	0,12	0,05	0,019	0,037	0,080
	p	0,259	0,783	0,411	0,732	0,896	0,801	0,582
Yağ	**r**	-0,060	0,015	-0,149	0,275	-0,003	0,211	0,119
	p	0,681	0,921	0,307	0,056	0,985	0,145	0,416
Karbonhidrat	**r**	0,121	0,075	0,056	-0,035	-0,030	0,091	-0,278
	p	0,408	0,608	0,705	0,809	0,838	0,532	0,053
Protein	**r**	0,039	0,169	-0,185	0,118	0,034	0,259	-0,242
	p	0,791	0,245	0,203	0,418	0,817	0,072	0,094
Demir	**r**	0,223	0,162	0,003	0,182	-0,006	0,148	-0,185
	p	0,124	0,267	0,984	0,210	0,966	0,309	0,204
Magnezyum	**r**	0,073	0,111	-0,092	0,142	0,051	0,200	-0,160
	p	0,618	0,448	0,530	0,331	0,726	0,168	0,271
C Vitamini	**r**	0,416	0,316	0,056	0,191	0,133	0,051	0,090
	p	**0,003**	**0,027**	0,700	0,188	0,361	0,726	0,541
Bel Boy Oranı	**r**	0,103	0,220	0,202	0,280	0,041	-0,050	0,863
	p	0,483	0,128	0,165	0,051	0,779	0,733	**0,000**
Bel Kalça Oranı	**r**	0,165	0,144	0,281	0,239	0,010	-0,009	0,513
	p	0,258	0,325	0,051	0,099	0,944	0,949	**0,000**
Ağırlık	**r**	0,135	0,216	0,405	0,217	0,026	-0,048	0,899
	p	0,354	0,136	**0,004**	0,134	0,858	0,744	**0,000**
BKI	**r**	0,189	0,264	0,34	0,259	-0,003	-0,124	1
	p	0,193	0,067	**0,017**	0,073	0,982	0,394	
Diyabet Yılı	**r**	0,481	0,218	0,216	0,078	0,136	-0,154	0,257
	p	**0,000**	0,133	0,136	0,593	0,351	0,29	0,075
Öğün Sayısı	**r**	-0,214	-0,147	-0,073	-0,132	0,152	0,149	-0,267
	p	0,139	0,314	0,617	0,366	0,297	0,306	0,064
Kolesterol (diyetle alınan)	**r**	-0,076	-0,018	-0,198	0,221	0,141	0,281	-0,220
	p	0,606	0,905	0,172	0,127	0,334	0,051	0,129

*r=Peason Korelasyon Testi ve Spearman Korelasyon Testi

Çalışmamıza benzer şekilde, yapılan farklı bir araştırmada diyabet süresi ile HbA1c düzeyleri arasında güçlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır (p<0,001) (Simon vd., 2024). Türkiye'de yapılan bir araştırmada eğitim düzeyinin artması daha iyi glisemik kontrol ile anlamlı bir şekilde ilişkili bulunmuştur. Diyabet süresinin artması, HbA1c'nin %7'nin üzerinde olması ile ilişkili bulunmuştur (Demir vd., 2025). Çalışmamızın aksine, yapılan bir çalışmada daha yüksek C vitamini alımının, yüksek HbA1c olasılığının daha düşük olması ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (Alarifi vd., 2025). Bir başka da çalışmada C vitamini alımı ile HbA1c arasında ters yönlü ilişki raporlanmıştır (p<0,0001) (Zhou vd., 2016). Çalışmamızın aksine, plazma C vitamini düzeyi daha yüksek olanlarda açlık kan glukozunun daha düşük olma eğiliminde olduğu bildirilmiştir (Wilson vd., 2017). Bir başka çalışmada C vitamini takviyesinin glisemik profil üzerinde iyileşme yönünde etkiler bildirmiştir (Nosratabadi vd., 2023). Çalışmamıza benzer şekilde, yapılan araştırmalarda açlık insülini ile vücut ağırlığı ve BKİ arasında pozitif ilişki bildirilmiştir (Lithell vd., 1981; Panag vd., 2014; Park vd., 2019). Yapılan diğer çalışmalarda, benzer şekilde bel-boy oranı ve BKİ arasında pozitif korelasyon bildirilmiştir (r=0,60, p<0,001) (Ramesh vd., 2024). Daha önceki araştırma sonuçlarında da bel-kalça oranı ve BKİ arasında pozitif korelasyon gösterilmiştir (r=0,7, p<0,0001, r=0,235, p=0,0018) (Başaran vd., 2025; Oladipo vd., 2023). Vücut ağırlığı ile BKİ arasında güçlü pozitif korelasyon bildirilmiştir (r=0,82, p<0,001, r=0,786, p=0,001) (Mayasari vd., 2025; Oladipo vd., 2023).

4. SONUÇLAR

Araştırmamızdaki sonuçlara göre, katılımcıların büyük çoğunluğunun ideal kilonun üzerinde olduğu ve dengesiz makro besin ögesi dağılımı, yetersiz lif alımı ve yüksek yağ tüketimine sahip oldukları görülmektedir. Diyabete bağlı gelişebilecek makro ve mikrovasküler komplikasyonların önlenebilmesi ve vücut ağırlığının kontrol altında tutulabilmesi için diyabetlilere sürekli beslenme eğitiminin sağlanması, kişiye özgü beslenme programlarının oluşturulması ve takibinin yapılması gerekmektedir.

5. KAYNAKÇA

Ahmmed, M. S., Shuvo, S. D., Paul, D. K., Karim, M. R., Kamruzzaman, M., Mahmud, N., Elahi, M. T., Prevalence of dyslipidemia and associated risk factors among newly diagnosed Type-2 Diabetes Mellitus (T2DM) patients in Kushtia, Bangladesh. *PLOS global public health*, *1*(12), e0000003.

Alarifi, S., Alhussain, M. H., & EL-Rahman, R. A. A., Micronutrient intake and HbA1c in Saudi Arabian patients with type 2 diabetes: a cross-sectional analysis. *Italian Journal of Food Science/Rivista Italiana di Scienza degli Alimenti*, *37*(4), 2025.

American Diabetes Association (ADA), "*Standards of Medical Care in Diabetes 2024. Diabetes Care"*, 47(1), 1–164, 2024.

Ashwell, M., Gibson, S., Waist-to-height ratio as an indicator of 'early health risk': simpler and more predictive than using a 'matrix'based on BMI and waist circumference. *BMJ open*, *6*(3), 2016.

Bagry, A. E., Stefanenko, A. V., Mikhailichenko, E. S., Stefanenko, E. R., Sabelnikova, Y. S., "*Features of macro-and microvascular complications in patients with type 2 diabetes mellitus (observational case-control study)",* Pharmateca, 31(6), 230-238, 2024.

Baheti, B., Liu, X., Wang, M., Zhang, C., Dong, X., Kang, N., Li, L., Li, X., Yu, S., Hou, J., "*Association between Meal frequency and type 2 diabetes Mellitus in rural adults: a large-scale cross-sectional study*", Nutrients, 15(6), 1348, 2023.

Basaran, E., & Aktas, G., Waist-to-height ratio as a novel marker of metabolic syndrome in patients with type 2 diabetes mellitus. *Exploration of Endocrine and Metabolic Diseases*, *2*, 101421, 2025.

Dal Canto, E., Ceriello, A., Rydén, L., Ferrini, M., Hansen, T. B., Schnell, O., Beulens, J. W., "*Diabetes as a cardiovascular risk factor: An overview of global trends of macro and micro vascular complications*", European journal of preventive cardiology, 26(2), 25-32, 2019.

Davies, M. J., D'Alessio, D. A., Fradkin, J., Kernan, W. N., Mathieu, C., Mingrone, G., Buse, J. B., "*Management of hyperglycemia in type 2 diabetes, 2018. A consensus report by the American Diabetes Association (ADA) and the European Association for the Study of Diabetes (EASD)*", Diabetes care, 41(12), 2669, 2018.

Demir, S. B., Yesilova, A., Cengiz, M., & Adas, M., Current Treatment Approaches And Glycemıc Control In Turkısh Patıents Wıth Type 2 Dıabetes Mellıtus: A Real-World Evıdence From A Tertıary Hospıtal In Turkey. *Acta Endocrinologica (Bucharest)*, *20*(3), 324, 2025.

DNSG of the European Association for the Study of Diabetes, "*Evidence-based European recommendations for the dietary management of diabetes"*, Diabetologia, 66(6), 965–985, 2023.

Evert, A. B., Dennison, M., Gardner, C. D., Garvey, W. T., Lau, K. H. K., MacLeod, J., Mitri, J., Pereira, R.F., Rawlings, K., Robinson, S., Saslow, L., Uelman, S., Urbanski, P.B., Yancy Jr, W. S., "*Nutrition therapy for adults with diabetes or prediabetes: a consensus report*", Diabetes care, 42(5), 731, 2019.

George, D., Mallery, M., SPSS for windows step bysstep: A simple guide and reference. *Baston: Allyn & Bacon*, 2010.

Gulcelik, N. E., Karakaya, J., Gedik, A., Usman, A., & Gurlek, A., Serum vaspin levels in type 2 diabetic women in relation to microvascular complications. *European Journal of Endocrinology*, *160*(1), 65-70, 2019.

Güngör, S., Saka, M., İyidir, Ö.T., "*Tip-2 Diyabetli Bireylerin Diyet Asit Yükleri ile Makro Besin Ögesi Alımları Arasındaki İlişki*", Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 6(3), 204-217, 2021.

Hsu, Y. L., Su, D. H., Kuo, S. C., "*Health literacy and depression in women with type 2 diabetes mellitus*", Clinics, 75, e1436, 2020.

Izadkhah, F. S., Mohebi, S., Rahbar, A., Gharlipour, Z., Sharifirad, G., "*Health literacy in type 2 diabetic women in Qom province in 2019*", Journal of Health Literacy, 5(1), 50-60, 2020.

İpek, S., Tip 2 diyabetli hastalarda metabolik sendrom prevalansı. *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, *15*(1), 29-33, 2008.

Jayedi, A., Soltani, S., Motlagh, S. Z. T., Emadi, A., Shahinfar, H., Moosavi, H., & Shab-Bidar, S., Anthropometric and adiposity indicators and risk of type 2 diabetes: systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Bmj*, *376*, 2022.

Joseph, J., Beyond the Triad: Uncommon Initial Presentations in Newly Diagnosed Type 2 Diabetes Mellitus. *Cureus*, *17*(8), 2025.

Kaner, G., Pamuk, B. Ö., Pamuk, G., Ongan, D., Koyu, E. B., Çalık, G., & Öksüz, S., Tip 2 diyabetli bireylerin beslenme durumlarının saptanması ve diyabete yönelik davranışlarının belirlenmesi. *Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi*, *5*(2), 146-157, 2021.

Kaynarpunar, E., & Akman, M. (2021). Tip 2 diyabetli hastaların beslenme alışkanlıkları, diyet kalitesi ve yeme davranışlarının değerlendirilmesi. *OPUS International Journal of Society Researches*, *18*(40), 2615-2637.
Kim, S., Yang, J. H., Park, G. H., "*Eating frequency is inversely associated with BMI, waist circumference and the proportion of body fat in Korean adults when diet quality is high, but not when it is low: analysis of the Fourth Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV)*", British Journal of Nutrition, 119(8), 918-927, 2018.

Kumsar, A. K., Yılmaz, F. T., Gündoğdu, S., Tip 2 diyabetli bireylerde algılanan semptom düzeyi ile HbA1c ilişkisi. *Cukurova Medical Journal*, *44*, 61-68, 2019.

Leone, A., Battezzati, A., Di Lello, S., Ravasenghi, S., Mohamed-Iahdih, B., Mohamed Lamin Saleh, S., & Bertoli, S., Dietary habits of Saharawi type ii diabetic women living in Algerian refugee camps: Relationship with nutritional status and glycemic profile. *Nutrients*, *12*(2), 568, 2020.

Ling, C., Rönn, T., "*Epigenetics in human obesity and type 2 diabetes*", Cell metabolism, 29(5), 1028-1044, 2019.

Lithell, H., Lindgärde, F., Hellsing, K., Lundqvist, G., Nygaard, E., Vessby, B., & Saltin, B., Body weight, skeletal muscle morphology, and enzyme activities in relation to fasting serum insulin concentration and glucose tolerance in 48-year-old men. *Diabetes*, *30*(1), 19-25, 1981.

Lu, X., Xie, Q., Pan, X., Zhang, R., Zhang, X., Peng, G., ... & Tong, N., Type 2 diabetes mellitus in adults: pathogenesis, prevention and therapy. *Signal transduction and targeted therapy*, *9*(1), 262, 2024.

Mahdavi, R., Halali, F., Asghari Jafarabadi, M., & Mobasseri, M., Contribution of barriers to dietary intake in female patients with type 2 diabetes. *Nutrition & Food Science*, *48*(3), 510-519, 2018.

Mayasari, N. R., Kumalasari, I., Indrawati, V., & Pratama, S. A., Obesity and Correlation of Body Mass Index and Body Composition among Sports Sciences versus Non-Sport Sciences Students. *Al-Rafidain Journal of Medical Sciences (ISSN 2789-3219)*, *8*(1), 27-31, 2025.

Mirzamohamadi, S., HajiAbbasi, M. N., Roshandel, G., Ghorbani, S., Badrkhahan, S. Z., Makhtoumi, M., Zahedi, M., Incidence and predictors of type 2 diabetes mellitus during 17 years of follow-up in the Golestan Cohort Study. *Scientific Reports*, *15*(1), 11174, 2025.

Motahari-Tabari, N., Shirvani, M. A., Shirzad-e-Ahoodashty, M., Yousefi-Abdolmaleki, E., & Teimourzadeh, M., The effect of 8 weeks aerobic exercise on insulin resistance in type 2 diabetes: a randomized clinical trial. *Global journal of health science*, *7*(1), 115, 2014.

Nosratabadi, S., Ashtary-Larky, D., Hosseini, F., Namkhah, Z., Mohammadi, S., Salamat, S., ... & Asbaghi, O., The effects of vitamin C supplementation on glycemic control in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, *17*(8), 102824, 2023.
Oladipo, G. S., Jaiyeoba-ojigho, J. E., Adheke, O. M., & Mbam, J. O., Body Mass Index and Waist-Hip Ratio as Health Risk Predictors among selected Southern Nigerian University Undergraduates. *International Archives of Medical Research*, *15*(2), 1-15, 2023.

Panag, K. M. D. S., Kaur, N., & Goyal, G., Correlation of insulin resistance by various methods with fasting insulin in obese. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, *4*(Suppl 1), S41-S45, 2014.

Park, J. H., Mun, S., Choi, D. P., Lee, J. Y., & Kim, H. C., Association between changes in anthropometric indices and in fasting insulin levels among Healthy Korean adolescents: the JS High School Study. *Diabetes & metabolism journal*, *43*(2), 183-191, 2019.

Pekcan, G., Ayaz, A., Rakıcıoğlu, N., Tek, N.A., "*Yemek ve besin fotoğraf kataloğu: Ölçü ve miktarlar*", (9. baskı), Nobel Kitabevi, Ankara, 2025.

Prentki, M., ve Nolan, C. J., Beta-cell failure in T2DM. *Nature Reviews Endocrinology*, 2, 569–583, 2006.

Rahman, D. K., Khan, M. I., Ikram, W., Raza, M. M., "*Impact of dietary habits on glycemic control in type 2 diabetic patients attending a tertiary care hospital*", Cureus, 17(7), 2025.

Ramesh, N., Kumar, P., Sweta, S., Prasad, A., & Tiwari, L. K., Correlation of anthropometric measurements with body mass index and estimation of the proportion of metabolic syndrome among overweight and obese children: a hospital-based cross-sectional study. *BMJ Paediatrics Open*, *8*(1), e002354, 2024.

Ryu, H. E., Lee, J. H., Park, B., Heo, S. J., Kwon, Y. J., "*Impact of Meal Frequency on Insulin Resistance in Middle-Aged and Older Adults: A Prospective Cohort Study*", Diabetes and Metabolism Journal, 49(2), 311-320, 2025.

Simon, J., LR, S. G., Bose, S., Association between glycemic control and autonomic dysfunction: A cross-sectional study in type 2 diabetes mellitus patients. *Romanian Medical Journal*, *71*(2), 2024.

Şeşen, F., Çoban, A. Y., Tekin, S., Tip 2 Diyabetli Bireylerde Diyet Kalitesi ve Beslenme Durumları Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi. *Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi*, *7*(1), 17-29, 2023.

Tegegne, B. A., Adugna, A., Yenet, A., Yihunie Belay, W., Yibeltal, Y., Dagne, A., Teffera, Z.H., Amare, G.A., Abebaw, D., Teweba, H., Abebe, R.B., Zeleke, T. K., "*A critical review on diabetes mellitus type 1 and type 2 management approaches: from lifestyle modification to current and novel targets and therapeutic agents*", Frontiers in Endocrinology, 15, 1440456, 2024.

Türkiye Beslenme Rehberi (TÜBER)-2022. T.C. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 1031, Ankara 2022. Erişim: https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-ve-hareketli-hayat db/Dokumanlar/Rehberler/Turkiye_Beslenme_Rehber_TUBER_2022_min.pdf (Erişim tarihi: 20.09.2025).

Wilson, R., Willis, J., Gearry, R., Skidmore, P., Fleming, E., Frampton, C., & Carr, A., Inadequate vitamin C status in prediabetes and type 2 diabetes mellitus: Associations with glycaemic control, obesity, and smoking. *Nutrients*, *9*(9), 997, 2017.

World Health Organisation (WHO), (2023) https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/body-mass-index (Erişim tarihi: 20.11.2025).

World Health Organization. (2022). *Global report on diabetes*, (Erişim tarihi: 20.11.2025).
Yerlikaya, F. H., Toker, A., Arıbaş, A., Serum trace elements in obese women with or without diabetes. *Indian Journal of Medical Research, 137*(2), 339-345, 2013.

Zheng, Y., Ley, S. H., Hu, F. B., "*Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications*", Nature Reviews Endocrinology, 14(2), 88-98, 2018.

Zhou, C., Na, L., Shan, R., Cheng, Y., Li, Y., Wu, X., & Sun, C., Dietary vitamin C intake reduces the risk of type 2 diabetes in Chinese adults: HOMA-IR and T-AOC as potential mediators. *Plos one*, *11*(9), e0163571, 2016.

18-65 YAŞ ARASI YETİŞKİNLERİN FONSİYONEL BESİN TÜKETİMİ İLE BKİ VE BEL ÇEVRESİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Diyetisyen Nur SERT
İstanbul Nişantaşı Üniversitesi
20221500538@std.nisantasi.edu.tr -ORCID ID:0009-0009-8973-0088

Dr. Öğr. Üyesi WidaSimzari
İstanbul Nişantaşı Üniversitesi
wida.simzari@nisantasi.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-9705-0183

ÖZET

Fonksiyonel besinler, temel besin ögelerini içeren ve aynı zamanda sağlık üzerinde olumlu etkileri olan besinlerdir. Bu çalışmanın amacı 18-65 yaş arası yetişkinlerin fonksiyonel besin tüketimi ile BKİ, bel çevresi ve yağ oranı arasındaki ilişkiyi incelemektir. Çalışmaya İstanbul'da yaşayan 18-65 yaş arası 253 yetişkin birey katılmıştır. Çalışmamızdaki sonuçlar %95'lik güven aralığında, $p<0.05$ anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir. Katılımcıların %75,1'i kadın, %24,9'u erkektir. Kadınların BKİ değeri 28.158 ± 5.735 kg/m², bel çevresi 86.387 ± 13.762 cm'dir. Erkeklerin ise BKİ'si 31.519 ± 4.908 kg/m², bel çevresi 108.460 ± 15.036 cm'dir. Katılımcıların %52,56'sı fonksiyonel besinleri tükettiğini belirtmiştir. Kadınlarda bu oran %55,78, erkeklerde %42,85'tir. Zerdeçal, zencefil, kefir, probiyotik yoğurt, laktozsuz süt, yoğurt, keten tohumu, çiya tohumu ve çikolata ile BKİ arasında anlamlı ilişkiler gözlemlenmiştir ($p<0.05$). Zerdeçal ve zencefil, kefir, probiyotik yoğurt, keten tohumu ve çiya tohumu, turpgiller ve kök sebzeler (brokoli, havuç, pancar vb.), yeşil çay, laktozsuz süt ve yoğurt, zeytinyağı, tam tahıllar, protein içeriği artırılmış süt, sirke, çikolata tüketimi ve bel çevresi arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur ($p<0.05$). Bu çalışmanın bulguları antropometrik ölçümlerin cinsiyete göre farklılaşabildiğini göstermektedir. Fonksiyonel besin tüketimi, metabolik sağlık ve sağlıklı beden kompozisyonunun korunması açısından önemlidir.

Anahtar Kelimeler :fonksiyonel besinler, BKİ, bel çevresi

1. FONKSİYONEL BESİNLER VEBKİ, BEL ÇEVRESİ

Fonksiyonel besinler, temel besin ögelerini içeren ve aynı zamanda sağlık üzerinde olumlu etkileri olan besinlerdir. Bu etkilerinin yanı sıra genel sağlık ve yaşam kalitesini artırmada önemli rol oynadığı araştırmalarca gösterilmektedir (Fekete ve diğerleri, 2025; Essa ve diğerleri, 2021; Vlaicu ve diğerleri, 2023; Peng ve diğerleri, 2020). Fonksiyonel besinler vitaminler, mineraller, lif, omega-3 yağ asitleri, antioksidanlar, polifenoller, probiyotikler ve prebiyotikler gibi biyoaktif bileşenler içerir (Fekete ve diğerleri, 2025; Vlaicu ve diğerleri, 2023). Yapılan çalışmalarda fonksiyonel besinlerin sağlığın korunmasında, kronik hastalıklardan korunmada ve çeşitli hastalıkların tedavisinde faydalı etkiler gösterdiği gözlemlenmiştir. Fonksiyonel besinlerin düzenli tüketimi; gastrointestinal sistem ve göz sağlığı için koruyucu, kanser, diyabet, kanser, kalp-damar hastalıkları, menapoz semptomlarının hafifletilmesi, osteoporozun önlenmesi, obezite tedavisinde etkilidir (Demirbağ ve diğerleri, 2023).

Yetişkin bireylerde fonksiyonel besin tüketiminin BKİ ve bel çevresi ile ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Fonksiyonel besinlerdeki polifenoller, probiyotikler, prebiyotikler, omega-3 yağ asitleri, diyet lifi ve bitkisel ekstraktlar gibi biyoaktif bileşenler ile enerji metabolizmasını düzenleme, yağ oksidasyonunu artırma, iştah kontrolünü etkileme ve insülin duyarlılığını iyileştirme potansiyeline sahiptir (Konstantinidi ve Kutelidakis, 2019; Solverson ve diğerleri, 2018; Lam ve diğerleri, 2025; Crowe ve Francis, 2013).Yapılan çalışmalarda, düzenli fonksiyonel besin tüketiminin adipoz doku birikimini sınırlandırabileceği ifade edilmektedir (Granato ve diğerleri, 2020). Bel çevresi, abdominal yağlanmanın önemli bir göstergesi olup; fonksiyonel besinlerin insülin duyarlılığını artırıcı ve inflamasyonu azaltıcı etkileri sayesinde bel çevresinin kontrolünde destekleyici rol oynayabilmektedir (Roberfroid ve diğerleri, 2010). Fonksiyonel besinlere yönelik olumlu tutum ve bilgi düzeyinin artması, bireylerin daha sağlıklı besin seçimlerine yönelmesini sağlayarak obezite riskinin azalmasına katkıda bulunabilir (Özkaya, 2021).

2. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Bu çalışma, İstanbul'da yaşayan 18-65 yaş arası yetişkin 253 bireye uygulanmıştır. Sonuçlar % 95'lik güven aralığında, anlamlılık $p<0.05$ düzeyinde değerlendirildi. Araştırmaya katılan

katılımcıların biyoelektrik empedans analiz (BIA) yöntemi kullanılarak yapılan vücut ağırlığı ölçümleri standartlara uygun olarak ölçülmüş, vücut bileşim analizleri ile vücut ağırlığı (kg)ve BKI (kg/m²) saptanmıştır. BIA ölçümünde Tanita MC-780MA cihazı kullanılmıştır. Bel çevresi mezura ile ölçülmüştür. Bel çevresi ölçümünde en alt kaburga kemiği ile kristailiyak arası bulunur, orta noktadan geçen çevre mezura ile ölçülür. Çalışma verileri değerlendirilirken ortalama, standart sapma, medyan, minimum ve maksimum değerleri, frekans ve yüzde, One-Way ANOVA Testigibi testlerden de faydalanılmıştır.

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Katılımcıların %75,1'i kadın (n = 190), %24,9'u erkektir (n= 63). Kadın katılımcıların vücut ağırlığı 74.124 ± 14.988 kg, boyu 162.368 ± 5.702 cm ve bel çevresi 86.387 ± 13.762 cm bulunmuştur. Erkeklerin ise vücut ağırlığı (98.566 ± 17.380 kg), boy (177.048 ± 7.467 cm), bel çevresi (108.460 ± 15.036 cm) değerlerine sahiptirler. DSÖ verilerine göre kadınların ortalama bel çevresi sağlık için düşük risk, erkeklerin ortalama bel çevresi abdominal obezite ve sağlığa bağlı yüksek risk teşkil etmektedir. (World HealthOrganization, 2011).

Beden kitle indeksi (BKİ) kadınlarda 28.158 ± 5.735 kg/m², erkeklerde ise 31.519 ± 4.908 kg/m² olarak ölçülmüştür ve bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.001$). DSÖ'ne göre BKİ 25-29.9 kg/m² arası hafif şişman, 30-34,9 kg/m2 arası 1. dereceden obez olarak sınıflandırılmıştır (World HealthOrganization, 2025). Buna göre çalışmaya katılan katılımcılardan kadınlar hafif şişman, erkekler 1. dereceden obezdir.

Katılımcıların %52,56'sı fonksiyonel besinleri tükettiğini belirtmiştir. Kadınlarda bu oran %55,78 (n = 106), erkeklerde %42,85'tir (n= 27). Katılımcıların %16,21'i fonksiyonel besinleri hiç tüketmemektedir. Kadınlarda bu oran %13,68 (n = 26), erkeklerde %23,81'dir (n = 15). Katılımcıların %31,23'ü ise bazen tükettiğini belirtmiştir. Kadınlarda bu oran %30,54 (n = 58), erkeklerde %33,33'tür (n = 21).

Bu çalışmada zerdeçal, zencefil ve kefir ile probiyotik yoğurt ve laktozsuz süt, yoğurt, keten tohumu, çiya tohumu ve çikolata gibi bazı besin türleri ile BKİ arasında anlamlı ilişkiler gözlemlenmiştir($p<0.05$). Zerdeçal ve zencefil, kefir, probiyotik yoğurt, keten tohumu ve çiya tohumu, turpgiller ve kök sebzeler (ör. brokoli, havuç, pancar), yeşil çay, laktozsuz süt ve yoğurt, zeytinyağı, tam tahıllar (çavdar, tam buğday, yulaf), protein içeriği artırılmış süt, sirke, çikolata tüketimi ve bel çevresi arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur ($p<0.05$).

Zerdeçal ve ana bileşeni kurkuminin bel çevresi üzerindeki etkileri, son yıllarda hem hayvan hem de insan çalışmalarında kapsamlı şekilde araştırılmıştır. Randomize kontrollü çalışmaların meta-analizlerinde, zerdeçal veya kurkumin takviyesinin BKİ ve bel çevresinde (ortalama -1.31 cm) anlamlı azalma sağladığı gösterilmiştir (Dehzad ve diğerleri, 2023). Özellikle prediyabet ve tip 2 diyabetli bireylerde, zerdeçal/kurkumin desteği vücut ağırlığı ve bel çevresinde belirgin düşüşlerle ilişkilendirilmiştir (Baniasadi ve diğerleri, 2025). Çalışmamızda da zerdeçal ve zencefil ile BKİ ve bel çevresi arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Çiya tohumu tüketiminin hem vücut ağırlığı hem de bel çevresi azalması, bu etkinin özellikle düşük kalorili diyetle birlikte iyileşmede daha belirgin olduğu belirtilmiştir (Vuksan ve diğerleri, 2017). Diğer çalışmalarda ise çiya tohumu tüketiminin bel çevresinde anlamlı bir azalma ancak vücut ağırlığı ve beden kitle indeksi (BKİ) üzerinde anlamlı bir değişiklik oluşmadığını bildirmiştir (Saadh ve diğerleri, 2024; TaghipourSheshdeh ve diğerleri, 2024). Saadh ve arkadaşlarının yaptığı meta-analiz çalışmasında çiya tohumu tüketiminin bel çevresinde ortalama 1,46 cm azalma, ancak vücut ağırlığı ve BKİ üzerinde kalıcı olarak anlamlı bir etki görülmemiştir (Saadh ve diğerleri, 2024). Çalışmamızda çiya tohumu ile BKİ ve bel çevresi arasında anlamlı ilişki gözlemlenmiştir.

Bazı çalışmalar, çikolata tüketen bireylerde BKİ ve bel çevresinin daha düşük olduğunu bildirmiştir (Smith ve diğerleri, 2020). Ancak, randomize kontrollü çalışmaların meta-analizlerinde, çikolata veya kakao tüketiminin vücut ağırlığı, BKİ ve bel çevresi üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı gösterilmiştir (Arisi ve diğerleri,2024). Başka bir çalışmada da benzer sonuç bulunmuştur (Smith ve diğerleri, 2020). Bazı alt grup analizlerinde ise, günde 20-30 gramdan fazla ve dört haftadan uzun süren çikolata tüketiminin, hafif kilo ve bel çevresi azalmasıyla ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Abu-Zaid ve diğerleri, 2024; Kord-Varkaneh ve diğerleri, 2019). Öte yandan, uzun dönemli prospektif çalışmalar, düzenli çikolata tüketiminin zamanla kilo artışıyla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Greenberg ve Buijsse, 2013). Çalışmamızda çikolata ile BKİ ve bel çevresi arasında da güçlü ilişkiler gözlemlenmiştir.

Probiyotik ve prebiyotik içeren fonksiyonel yoğurtların, kalori kısıtlamalı diyetle birlikte tüketilmesinin vücut yağ oranı ve bel çevresinde anlamlı azalma gözlemlenmiştir (Mohammadi-Sartang ve diğerleri, 2018). On haftalık randomize kontrollü bir çalışmada, probiyotik ve prebiyotiklerle zenginleştirilmiş yoğurt tüketen bireylerde, sade yoğurt tüketenlere kıyasla vücut yağ kütlesive bel çevresinde istatistiksel olarak anlamlı azalmalar gözlemlenmiştir (Mohammadi-Sartang ve diğerleri, 2018). Benzer şekilde, üç aylık bir

müdahale çalışmasında, kalori kısıtlamalı diyetle birlikte probiyotik yoğurt tüketen kadınlarda, vücut ağırlığı ve bel çevresinde belirgin düşüşler rapor edilmiştir (Hassan ve diğerleri, 2024). Ayrıca, meta-analiz bulguları da probiyotik takviyesinin, özellikle kalori kısıtlamalı diyetle birlikte uygulandığında, vücut ağırlığı, bel çevresi ve visseral yağda anlamlı azalmalar sağladığını desteklemektedir (Guo ve diğerleri, 2025). Ancak, bazı çalışmalarda kullanılan probiyotik türüne ve müdahale süresine bağlı olarak sonuçların değişebileceği ve uzun vadeli etkilerin daha fazla araştırılması gerektiği belirtilmektedir (Borgeraas ve diğerleri, 2018). Çalışmamızda probiyotik yoğurt tüketimi ile BKİ ve bel çevresi arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Sirke tüketiminin vücut ağırlığı ve yağ yüzdesi üzerindeki etkileri çeşitli klinik çalışmalarda incelenmiştir. On iki hafta boyunca günde 5, 10 veya 15 ml elma sirkesi tüketen fazla kilolu ve obez bireylerde, vücut ağırlığı, vücut kitle indeksi ve vücut yağ oranında anlamlı azalmalar gözlenmiştir; bu etkinin doza bağlı olarak arttığı bildirilmiştir (Abou-Khalil ve diğerleri, 2024). Benzer şekilde, Japon obez bireylerde yapılan randomize kontrollü bir çalışmada, 12 hafta boyunca sirke tüketiminin vücut ağırlığıve bel çevresinde anlamlı düşüşlere yol açtığı gösterilmiştir (Kondo ve diğerleri, 2009). Çalışmamızda da sirke tüketimi ile BKİ ve bel çevresi arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmaya katılan bireylerin %75,1'i kadın, %24,9'u erkektir. Kadınların BKİ değeri 28.158 ± 5.735 kg/m², bel çevresi 86.387 ± 13.762 cm'dir. Erkeklerin ise BKİ'si 31.519 ± 4.908 kg/m², bel çevresi 108.460 ± 15.036 cm'dir.

DSÖ verilerine göre çalışmaya katılan katılımcılardan kadınlar hafif şişman, erkekler 1. dereceden obezdir. Kadınların ortalama bel çevresi sağlık için düşük risk, erkeklerin ortalama bel çevresi abdominal obezite ve sağlığa bağlı yüksek risk teşkil etmektedir.

Katılımcıların %52,56'sı fonksiyonel besinleri tükettiğini belirtmiştir. Kadınlarda bu oran %55,78, erkeklerde %42,85'tir.

Çalışmamızda zerdeçal, zencefil ve kefir ile probiyotik yoğurt ve laktozsuz süt, yoğurt arasında BKİ ile anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Keten tohumu, çiya tohumu ve çikolata gibi bazı besin türleri ile BKİ arasında da güçlü ilişkiler gözlemlenmiştir. Zeytinyağı, sarımsak, soğan ve çavdar, tam buğday, yulaf ile BKİ arasında ise zayıf, ancak istatistiksel anlamlı olma eğiliminde ilişkiler saptanmıştır.

Zerdeçal ve zencefil, kefir, probiyotik yoğurt, keten tohumu ve çiya tohumu, turpgiller ve kök sebzeler (brokoli, havuç, pancar vb.), yeşil çay, laktozsuz süt ve yoğurt, zeytinyağı, tam tahıllar (çavdar, tam buğday, yulaf), protein içeriği artırılmış süt, sirke, çikolata tüketimi ve bel çevresi üzerinde yüksek düzeyde anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Bu çalışmadaki sonuçlar, vücut kompozisyon parametrelerinin cinsiyete göre farklılaşabildiğini desteklemektedir. Fonksiyonel besin tüketimi, metabolik sağlığın yanı sıra sağlıklı beden kompozisyonunun korunması açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Fonksiyonel besinlerin BKİ, bel çevresi ya da vücut ağırlığı kontrolüne etkisi, tek başına değil; bireyin genel beslenme alışkanlıkları, yaşam tarzı ve metabolik durumu gibi birçok değişkenin etkileşimiyle şekillenmektedir.

KAYNAKÇA

1. Abou-Khalil, R., Andary, J., & El-Hayek, E. Apple cidervinegarforweightmanagement in Lebaneseadolescentsandyoungadultswithoverweightandobesity: A randomised, double-blind, placebo-controlledstudy. BMJ Nutrition, Prevention&Health, 7, 61–67, 2024.
2. Abu-Zaid, A., Prabahar, K., Hernández-Wolters, B., Jamilian, P., Alyoubi, R., Alyahyawi, N., Mazi, A., Alkahmous, A., &Kord-Varkaneh, H. Theeffect of cocoaconsumption on theanthropometricoutcomes in overweightandobesesubjects: A time anddose–response meta-analysis of randomizedcontrolledtrials. Journal of FunctionalFoods, 2024.
3. Arisi, T., Da Silva, D., Stein, E., Weschenfelder, C., De Oliveira, P., Marcadenti, A., Lehnen, A., &Waclawovsky, G. Effects of cocoaconsumption on cardiometabolic risk markers: Meta-analysis of randomizedcontrolledtrials. Nutrients, 16, 2024.
4. Baniasadi, M., Arzhang, P., Setayesh, A., Moradi, M., Nasli-Esfahani, E., &Azadbakht, L. Theeffect of turmeric/curcuminsupplementation on anthropometricindices in subjectswithprediabetesandtype 2 diabetesmellitus: A Grade-assessedsystematicreviewanddose–response meta-analysis of randomizedcontrolledtrials. Nutrition&Diabetes, 15, 2025.
5. Borgeraas, H., Johnson, L., Skattebu, J., Hertel, J., &Hjelmesæth, J. Effects of probiotics on body weight, body massindex, fatmass, andfatpercentage in

subjectswithoverweightorobesity: A systematicreviewand meta-analysis of randomizedcontrolledtrials. ObesityReviews, 19, 219–232, 2018.

6. Crowe, K., & Francis, C. Position of the Academy of NutritionandDietetics: Functionalfoods. Journal of the Academy of NutritionandDietetics, 113(8), 1096–1103, 2013.
7. Dehzad, M., Ghalandari, H., Nouri, M., &Askarpour, M. Effects of curcumin/turmericsupplementation on obesityindicesandadipokines in adults: A GRADE-assessedsystematicreviewanddose–response meta-analysis of randomizedcontrolledtrials. PhytotherapyResearch, 37, 1703–1728, 2023.
8. Demirbağ, Z., Alan, S., &Öksüztepe, G. Fonksiyonel besinler ve beslenmedeki önemi. *Bozok Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 54–60, 2023.
9. Essa, M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R., &Qoronfleh, M. Functionalfoodsandtheirimpact on health. *Journal of FoodScienceandTechnology*, 60, 820- 834, 2021.
10. Fekete, M., Lehoczki, A., Kryczyk-Poprawa, A., Zábó, V., Varga, J., Bálint, M., Fazekas-Pongor, V., Csípő, T., Rząsa-Duran, E., &Varga, P. FunctionalFoods in Modern NutritionScience: Mechanisms, Evidence, andPublicHealthImplications. *Nutrients*, 17, 2025.
11. Granato, D., Barba, F. J., BursaćKovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., &Putnik, P. *Functionalfoods: Product development, technologicaltrends, efficacytesting, andsafety*. AnnualReview of FoodScienceandTechnology, 11, 93–118, 2020.
12. Greenberg, J., &Buijsse, B. Habitualchocolateconsumptionmayincrease body weight in a dose–responsemanner. PLOS ONE, 8(8), e70271, 2013.
13. Guo, M., Li, J., Zhang, L., Chen, C., Wei, Y., &Shen, Z. Effects of oral supplementation of probiotics on body weightandvisceralfat in obesepatients: A meta-analysisandsystematicreview. ScientificReports, 15, Article 90820, 2025.
14. https://www.who.int/publications/i/item/9789241501491?utm_ (Erişim Tarihi: 18.12.25)
15. Kondo, T., Kishi, M., Fushimi, T., Ugajin, S., &Kaga, T. Vinegarintakereduces body weight, body fatmass, and serum triglyceridelevels in obeseJapanesesubjects. Bioscience, Biotechnology, andBiochemistry, 73, 1837–1843, 2009.
16. Konstantinidi, M., &Koutelidakis, A. Functionalfoodsandbioactivecompounds: A review of theirpossible role in

weightmanagementandobesity'smetabolicconsequences. *Medicines*, *6*, Article 94, 2019.

17. Kord-Varkaneh, H., Ghaedi, E., Nazary-Vanani, A., Mohammadi, H., &Shab-Bidar, S. Doescocoa/darkchocolatesupplementationhavefavorableeffects on body weight, body massindexandwaistcircumference? A systematicreview, meta-analysisanddose–response of randomizedclinicaltrials. Critical Reviews in FoodScienceandNutrition, 59, 2349–2362, 2019.
18. Lam, H., Lin, S., Nguyen, D., Chen, C., Su, C., Fang, T., &Li, S. Integrativeroles of functionalfoods, microbiotics, nutrigenetics, andnutrigenomics in managingtype 2 diabetesandobesity. *Nutrients, 17*(4), 608, 2025.
19. Mohammadi-Sartang, M., Bellissimo, N., De Zepetnek, J., Brett, N., Mazloomi, S., Fararouie, M., Bedeltavana, A., Famouri, M., &Mazloom, Z. Theeffect of dailyfortifiedyogurtconsumption on weightloss in adultswithmetabolicsyndrome: A 10-week randomizedcontrolledtrial. Nutrition, Metabolism&CardiovascularDiseases, 28(6), 565–574, 2018.
20. Özkaya, Ö. Ş. *Yaşam kalitesi ve fonksiyonel besinler*. Fenerbahçe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 1(1), 62–68, 2021.
21. Roberfroid, M., Gibson, G. R., Hoyles, L., McCartney, A. L., Rastall, R., Rowland, I., … Meheust, A. *Prebioticeffects: Metabolicandhealthbenefits*. British Journal of Nutrition, 104(S2), S1–S63, 2010.
22. Saadh, M., Abosaoda, M., Baldaniya, L., Kalia, R., Arya, R., Mishra, S., Chauhan, A., Kumar, A., &Alizadeh, M. *Effects of chiaseed (Salviahispanica L.) consumption on bloodpressureand body composition in adults: A systematicreviewand meta-analysis of randomizedcontrolledtrials*. ClinicalTherapeutics, 2024.
23. Smith, L., Grabovac, I., Jackson, S., Veronese, N., Shang, C., López-Sánchez, G., Schuch, F., Koyanagi, A., Jacob, L., Soysal, P., Yang, L., & Zhu, X.
24. Chocolateconsumptionandindicators of adiposity in US adults. TheAmericanJournal of Medicine, 2020.
25. Solverson, P., Rumpler, W., Leger, J., Redan, B., Ferruzzi, M., Baer, D., Castonguay, T., &Novotny, J. *Blackberryfeedingincreasesfatoxidationandimproves insulin sensitivity in overweightandobese men*. Nutrients, 10, 2018.
26. TaghipourSheshdeh, F., Behzadi, M., Bashiri, S., &Mohammadi-Sartang, MTheeffect of chiaseed on bloodpressure, body composition, andglycemiccontrol: A GRADE-

assessedsystematicreviewanddose–response meta-analysis of randomizedcontrolledtrials. NutritionReviews, 2024.

27. Vlaicu, P., Untea, A., Varzaru, I., Sărăcilă, M., &Oancea, A. DesigningNutritionforHealth—IncorporatingDietaryBy-ProductsintoPoultryFeedstoCreateFunctionalFoodswithInsightsintoHealthBenefits, Risks, BioactiveCompounds, Food Component FunctionalityandSafetyRegulations. *Foods*, 12, 2023.

KİSTİK KİSTİK FİBROZİS HASTALARINDA METABOLİK DEĞİŞİMLERE UYGUN GÜNCEL BELENME ÖNERİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Kerim Kaan GÖKÜSTÜN
İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü
kerimkaangokustun@hotmail.com - 0000-0001-6725-4388
Doç. Dr. Gülşah BARĞI
İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü
gulsah.bargi@idu.edu.tr - 0000-0002-5243-3997

ÖZET

Kistik fibrozis, Kistik Fibrozis Transmembran Regülatör (KFTR) geninin mutasyonu sonucu epitel hücre zarında bulunan klor kanalı proteinindeki eksiklik veya disfonksiyon ile karakterize olan kalıtsal bir hastalıktır. Bu hastalık özellikle solunum yolları, pankreas, bağırsaklar ve ter bezlerini etkileyerek bu yapıların düzgün bir şekilde çalışmasını engellemekte, çeşitli komplikasyonlara ve metabolik değişikliklere yol açmaktadır. Bu çalışmanın amacı kistik fibrozis hastalığında görülen komplikasyon ve metabolik değişiklikleri değerlendirerek, bu değişikliklere yönelik güncel beslenme önerilerini derlemektir. Kistik fibrozis hastalarında solunum yolları tutulduğu için tekrarlayan akciğer enfeksiyonları görülebilmektedir. Enfeksiyon sıklığının artması ise enerji gereksinmesini arttırabilmektedir. Pankreas enzimlerinin azalması, ekzokrin pankreas yetersizliğine ve insülin salınımının azalmasına neden olabilmektedir. Bu hastalarda yağ emilimi bozulduğu için yağda çözünen vitaminlerin eksiklikleri görülebilmektedir. Kistik fibrozis hastası çocukların enerji ihtiyacı sağlıklı çocuklara göre %120-150 daha fazladır. Büyüme ve gelişmenin desteklenmesi ve enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla çocuklara ek enerji takviyesi yapılmalıdır. Karbonhidrat, yağ ve protein alımları total enerjinin sırasıyla %40-45, %35-40 ve %20 olmalıdır. Pankreas yetmezliği olan çocuklarda besinlerin sindirimi ve emilimi için pankreatik enzim takviyesi yapılmalıdır. Yağda çözünen vitaminlerin ve demir, çinko gibi minerallerin serum konsantrasyonları takip edilmeli, eksiklik varsa yerine konmalıdır. Bu hastalarda sıvı-elektrolit dengesi bozulabileceği için su ve tuz alımına dikkat edilmelidir. Sonuç olarak kistik fibrozis ciddi komplikasyonlara neden olabilecek kalıtsal bir hastalıktır. Beslenme önerileri geliştirilirken hastaların beslenme durumu komplikasyon ve metabolik değişimlerine uygun bir şekilde ayrıntılı olarak değerlendirilmeli ve bireye özgü beslenme önerileri geliştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Beslenme önerileri, kistik fibrozis, makro besin ögesi, mikro besin ögesi, kistik fibrozis transmembran regülatör geni

CURRENT NUTRITIONAL RECOMMENDATIONS ADAPTED TO METABOLIC CHANGES IN PATIENTS WİTH CYSTIC FIBROSIS

Dr. Öğr. Üyesi Kerim Kaan GÖKÜSTÜN

Assistant Professor, Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, Izmir Democracy University

kerimkaangokustun@hotmail.com - 0000-0001-6725-4388

Doç. Dr. Gülşah BARĞI

Associate Professor, Department of Physical Therapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Izmir Democracy University

gulsah.bargi@idu.edu.tr - 0000-0002-5243-3997

Abstract

Cystic fibrosis is a hereditary disorder characterized by a deficiency or dysfunction of the chloride channel protein located in the epithelial cell membrane, resulting from mutations in the cystic fibrosis transmembrane conductance regulator (CFTR) gene. This condition predominantly affects the respiratory system, pancreas, gastrointestinal tract, and sweat glands, leading to impaired organ function and a wide range of complications and metabolic disturbances. The aim of this review is to evaluate the metabolic alterations and associated complications observed in cystic fibrosis and to summarize the most recent dietary recommendations addressing these changes. Due to airway involvement, individuals with cystic fibrosis are prone to recurrent pulmonary infections, which can increase overall energy requirements. Impaired pancreatic enzyme secretion may result in exocrine pancreatic insufficiency, while progressive pancreatic damage can also reduce insulin production. Additionally, deficiencies in fat-soluble vitamins may develop as a consequence of impaired fat absorption. Children with cystic fibrosis have energy requirements approximately 120–150% higher than those of healthy peers. Therefore, additional energy intake is necessary to support growth and development and to meet increased metabolic demands. It is recommended that carbohydrate, fat, and protein intake account for approximately 40–45%, 35–40%, and 20% of total daily energy intake, respectively. Children with pancreatic insufficiency require pancreatic enzyme replacement therapy to ensure adequate digestion and absorption of nutrients. Serum levels of fat-soluble vitamins and minerals, such as iron and zinc, should be regularly monitored and supplemented when deficiencies are identified. Furthermore, careful attention should be paid to fluid and sodium intake, as disturbances in fluid and electrolyte balance are common in these patients. In conclusion, cystic fibrosis is an inherited disorder associated with significant metabolic alterations and clinical complications. When developing dietary recommendations, a comprehensive assessment of the patient’s nutritional status, metabolic changes, and disease-related complications is essential in order to design individualized and effective nutritional interventions.

Keywords: Cystic fibrosis, Cystic Fibrosis Transmembrane Conductance Regulator, diet therapy, macronutrients, micronutrients, nutritional requirements

1. Giriş

Kistik fibrozis, Kistik Fibrozis Transmembran Regülatör (KFTR) geninin mutasyonu sonucu epitel hücre zarında bulunan klor kanalı proteinindeki eksiklik veya disfonksiyon ile karakterize olan kalıtsal bir hastalıktır (Sankari ve Sharma, 2024). Kistik fibrozis hastalığına KFTR genindeki 2000'den fazla gen mutasyonu neden olmaktadır. Bu mutasyonlar sonucu mukus birikimi, organ disfonksiyonu ve sıvı-elektrolit dengesizliği oluşmaktadır. Bu hastalık özellikle solunum yolları, pankreas, bağırsaklar, ter bezleri ve üreme sistemini etkileyerek bu yapıların düzgün bir şekilde çalışmasını engellemekte, çeşitli komplikasyonlara ve metabolik değişikliklere yol açmaktadır (Serçe, 2022). Semptomlar bebeklik, çocukluk ve yetişkinlik çağında görülebilmekle birlikte yeni doğanlarda tarama ve bazı genetik testler ile bu hastalığın erken tanısı sağlanabilmektedir (Sankari ve Sharma, 2024).

2. Kistik Fibrozis Etiyolojisi

Kistik Fibrozis Transmembran Regülatör genindeki mutasyonlar CFTR proteinini farklı şekillerde etkileyebilmektedir. Kistik fibrozis mutasyonlara göre 5 sınıfa ayrılmaktadır (Rodrigues et al., 2008; Sankari ve Sharma, 2024).

Sınıf 1- Protein sentezindeki defekt: Kistik Fibroz Transmembran Regülatör proteini hiç sentezlenemeyebilir.

Sınıf 2- Protein sentez ve fonksiyonundaki defekt (ΔF508 mutasyonu): Protein düzgün bir şekilde katlanamamakta ve hücre membranına ulaşamamaktadır. Özellikle CFTR proteininin 508. pozisyonunda yer alan fenilalaninin eklenmemesi sonucu protein yanlış katlanmakta ve CFTR proteininin yapısı bozulmaktadır. En sık görülen gen mutasyonu ΔF508 mutasyonudur.

Sınıf 3- Regülasyondaki bozukluklar: Klor kanalları düzgün bir şekilde açılıp kapanamamaktadır.

Sınıf 4- Klor iyon geçişindeki bozukluklar: Klor iyonu geçişi azalır.

Sınıf 5- Artmış kanal turnover'ı: Protein sentezi azalır ve klor kanalı kararsızlaşır.

3. Kistik Fibrozis Epidemiyolojisi

Kistik fibrozis en sık Kuzey Avrupa ülkelerinde görülmektedir. Avrupa'da insidansı canlı doğumlarda 1/3000-1/6000 arasında değişmektedir. İrlanda ve Finlandiya'da insidanssın sırasıyla 1/1353 ve 1/25.000 olduğu belirlenmiştir. Orta Asya'da insidans diğer bölgelere göre daha düşüktür. Japonya'da kistik fibrozis insidansının 1/350.000 olduğu rapor edilmiştir (Scotet et al., 2020). Türkiye'de ise kistik fibrozis insidansı 1/3000 bulunmuştur (Hangül et al., 2019).

4. Kistik Fibrozis Komplikasyonları ve Metabolik Değişiklikler

Kistik fibroziste en sık görülen komplikasyon solunum yolları enfeksiyonudur. Solunum yolu komplikasyonları morbidite ve mortalitenin yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Kistik fibroziste

bronşektazi, pnömotoraks, hemoptizi, alerjik bronkopulmoner aspergillozis, solunum yolu hiperaktivitesi ve kronik solunum yetmezliğine sıklıkla karşılaşılmaktadır (Pekcan, 2007).

Kistik fibroziste klor iyonu geçişindeki bozukluk en çok ekzokrin salgı bezlerini etkilemektedir. Kistik fibrozis hastası bireylerin yaklaşık %90'ında pankreas enzimleri yeterli düzeyde salgılanamamaktadır. Pankreas enzimlerinin yeterli düzeyde salgılanamaması besin ögelerinin emilimini zorlaştırmaktadır. Malabsorbsiyon sonucu yağlı ve kötü kokulu dışkı, büyüme ve gelişme geriliği, malnutrisyon ve vitamin-mineral yetersizlikleri görülmektedir. Özellikle yağ, protein ve yağda çözünen vitaminlerin emilimi azalmaktadır. Protein emiliminin azalması, artan enfeksiyonlar ile birlikte malnutrisyonu alevlendirebilmektedir. Kistik fibrozisli bireylerde A, D, E, K, B12 ve folik asit eksiklikleri saptanabilmektedir. Ayrıca ter ile kayıplar sonucu sodyum, potasyum, klor; malabsorbsiyon ve artan enfeksiyonlar sonucu demir, çinko ve magnezyum eksikliği gözlemlenebilmektedir. Sürekli tekrarlayan enfeksiyonlar enerji ihtiyacını 1,2-1,5 kat arttırmaktadır (Durmaz & Yabancı, 2021; Gupta et al., 2007; Malekahmadi et al., 2024; Sankararaman et al., 2022; Serçe, 2022).

Kistik fibrozisli bireylerde pankreas hasarına bağlı olarak tip 2 diyabet gelişebilmektedir. Pankreas β hücre sayısında azalma ve β hücre disfonksiyonu görülebilmektedir. Ayrıca pankreasta glukagon benzeri peptid-1 reseptör protein düzeyi azalmakta ve insülin sekresyonu olumsuz yönde etkilenmektedir (Gharib et al., 2024).

Kistik fibrozis hastalarında gen mutasyonu, safra kanallarını olumsuz yönde etkileyerek karaciğer hasarına yol açabilmektedir. Karaciğer hasarının ilerlemesi ise siroz ve portal hipertansiyon görülmesi ile sonuçlanabilmektedir. Kistik fibrozis nedeniyle görülen karaciğer hasarı, kalsiyum ve D vitamini metabolizmasını bozarak osteoporoza neden olabilmektedir (Türkiye Toraks Derneği, 2024).

5. Kistik Fibrozis Hastalarına Uygun Güncel Beslenme Önerileri

5.1. Enerji

Kistik fibrozisli bireylerde enerji harcaması artmıştır. Sağlıklı bireyler ile karşılaştırıldığında enerji harcamasının %120-150 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Malnutrisyon varsa enerji ihtiyacının daha fazla olabileceği düşünülmektedir (Serçe, 2022).

5.2. Protein

Pankreas yetersizliği, kronik enfeksiyon ve inflamasyon ve çocuklarda büyüme ve gelişmenin devam etmesi kistik fibrozisli bireylerde protein gereksinmesini arttırmaktadır. Genel olarak total enerjinin %20'si olacak şekilde ayarlanabilir. Bebeklerde protein gereksinmesi 2,0 g/kg/gün; çocuk, adolesan ve yetişkinlerde ise 1,5-2 g/kg/gün olarak belirlenmiştir. Hayvansal protein kaynağı olarak tavuk, hindi, kırmızı et, yumurta, süt, yoğurt, peynir; bitkisel protein kaynağı olarak ise kurubaklagiller, mercimek, nohut, fasulye önerilmektedir (Durmaz & Yabancı, 2021; Serçe, 2022; Kistik Fibrozis Derneği, 2023).

5.3. Yağ ve Karbonhidrat

Kistik fibrozisli bireylerde pankreas yetersizliği sonucu yağ gereksinmesi artmıştır. Enerji gereksinmesinin %35-40'ı yağlardan gelmelidir. Zeytinyağı, avokado, yağlı tohumlar yağ kaynağı olarak tercih edilebilir. Total enerjinin %40-45'i karbonhidratlardan gelmelidir. Bu hastalarda tip 2 diyabet görülebileceği için tam tahıl ve kurubaklagiller gibi kompleks karbonhidratlar tercih edilmelidir. Pankreatik enzim replasman tedavisi makro besin ögelerinin emilimi açısından oldukça önemli olduğu için öğünler ile birlikte ihmal edilmemelidir (Serçe, 2022; Kistik Fibrozis Derneği, 2023).

5.4. Vitamin ve Mineral Desteği

Kistik fibrozisli bireylerde yağ malabsorbsiyonu olduğu için A, D, E, K vitamini eksiklikleri sık görülmektedir. Bu nedenle yağda çözünen vitaminlerin takibi ve takviyesi rutin olarak yapılmalıdır. Ayrıca terleme ile birlikte sodyum ve klor kayıpları artmaktadır. Bu nedenle kistik fibrozis hastalarına tuz önerilebilmektedir. Kalsiyum, demir, çinko gibi minerallerin takibi sıklıkla yapılmalı; eksiklik varsa yerine konmalıdır (Ede & Köseoğlu, 2020).

5.5. Beslenme Durumunun İzlenmesi

Kistik fibrozis hastası bireylerde büyüme parametreleri, vücut ağırlığı, boy uzunluğu, bel-kalça oranı, skolyoz ve kemik deformiteleri ve vücut yağ ve kas oranları periyodik olarak takip edilmelidir. Serum A, D, E, K vitamin düzeyleri ve mineral eksiklikleri ile ilişkili parametreler izlenmelidir. Vitamin ve mineral takibi yılda 1-2 kez yapılmalıdır. Pankreatik fonksiyon testleri oldukça önemlidir ve sıklıkla değerlendirilmelidir (Ede & Köseoğlu, 2020; Kistik Fibrozis Derneği, 2023).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak kistik fibrozis ciddi komplikasyonlara neden olabilecek metabolik komplikasyonlar ile karakterize olan kalıtsal bir hastalıktır. Enerji harcamasının artması, büyüme ve gelişme çağındaki çocukların yaşa göre uygun büyüme eğrilerini yakalayabilmesi için enerji ve protein alımı arttırılmalıdır. Pankreas enzim yetersizliği nedeniyle özellikle yağ alımlarına dikkat edilmeli, yağ alımı arttırılmalıdır. Yağda çözünen vitaminlerin ve minerallerin takibi yapılmalı ve eksiklikler yerine konmalıdır. Kistik fibrozis hastalarında malabsorbsiyonun azaltılması amacıyla öğünler ile birlikte pankreas enzim takviyesi alınmalıdır. Ayrıca beslenme önerileri geliştirilirken hastaların beslenme durumu, komplikasyon ve metabolik değişimlerine uygun bir şekilde ayrıntılı olarak değerlendirilmeli ve bireye özgü beslenme önerileri yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Durmaz, S. E., & Yabancı, N. (2021). Kistik fibroziste mikrobesin ögelerinin önemi. *Güncel Pediatri*, *19*(1), 127-134.

Ede, E., & Köseoğlu, S. Z. A. (2020). Kistik fibrozis hastalığında tıbbi beslenme tedavisi. *Journal of Health Sciences and Medicine*, *3*(2), 183-186.

Gharib, S. A., Vemireddy, R., Castillo, J. J., Fountaine, B. S., Bammler, T. K., MacDonald, J. W., et al. (2024). Cystic fibrosis-related diabetes is associated with reduced islet protein expression of GLP-1 receptor and perturbation of cell-specific transcriptional programs. *Scientific reports*, *14*(1), 25689.

Gupta, A., Eastham, K., Wrightson, N., & Spencer, D. (2007). Hypomagnesaemia in cystic fibrosis patients referred for lung transplant assessment. *Journal of Cystic Fibrosis*, *6*(5), 360-362.

Hangül, M., Pekcan, S., Köse, M., Acıcan, D., Şahlar, T. E., Erdoğan, M., et al. (2019). The incidence of cystic fibrosis in the central region of Anatolia in Turkey between 2015 and 2016. *Balkan medical journal*, *36*(3), 179.

Kistik Fibrozis Derneği. (2023). Kistik fibrozis ve beslenme: Beslenme rehberi. https://www.kifder.org.tr/wp-content/uploads/2023/01/Beslenme.pdf

Malekahmadi, M., Soltani, S., Pahlavani, N., Zahabi, E. S., Kazemizadeh, H., Hadavi, S., & Farsani, G. M. (2024). Zinc status in cystic fibrosis patients; a systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, *10*(13).

Pekcan, S. (2007). Kistik Fibroziste Solunum Yolu Komplikasyonları. *Turkiye Klinikleri Journal of Internal Medical Sciences*, *3*(14), 42-48.

Rodrigues, R., Gabetta, C. S., Pedro, K. P., Valdetaro, F., Fernandes, M. I., Magalhães, P. K.,et al. (2008). Cystic fibrosis and neonatal screening. *Cadernos de Saúde Pública*, *24*, s475-s484.

Sankararaman, S., Hendrix, S. J., & Schindler, T. (2022). Update on the management of vitamins and minerals in cystic fibrosis. *Nutrition in clinical practice*, *37*(5), 1074-1087.

Sankari, A., & Sharma, S. (2024). Cystic Fibrosis. In StatPearls. StatPearls Publishing.

Scotet, V., L'hostis, C., & Férec, C. (2020). The changing epidemiology of cystic fibrosis: incidence, survival and impact of the CFTR gene discovery. *Genes*, *11*(6), 589.

Serçe, H. (2022). Kistik Fibrozis Hastalığı ve Tıbbi Beslenme Tedavisi. *Turkiye Klinikleri Nutrition and Dietetics-Special Topics*, *8*(2), 30-34.

Türkiye Toraks Derneği. (2024). Kistik fibrozis tanı ve tedavi rehberi 2024 [PDF]. Türkiye Toraks Derneği. https://toraks.org.tr/site/sf/books/2024/07/d7148617dcdc2a00f56f99ced65a0c55cbbfe610a9e59767d76c6a03275d336f.pdf

İNTERSTİSYEL AKCİĞER HASTALIĞI OLAN BİREYLERDE REHABİLİTASYON GEREKÇELERİ

Doç. Dr. Gülşah BARĞI
İzmir Demokrasi Üniversitesi,
gulsah.bargi@idu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-5243-3997

Dr. Öğr. Üyesi Kerim Kaan GÖKÜSTÜN
İzmir Demokrasi Üniversitesi,
kerim.gokustun@idu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6725-4388

ÖZET
İnterstisyel akciğer hastalığı (İAH) 200'den fazla parankimal akciğer hastalığından oluşan heterojen bir gruptur. İAH'nda akciğer interstisyumunda hücresel inflamasyon ve fibrozis meydana gelmektedir. Çoğunluğu kronik ilerleyici fibrozisle seyreden İAH olan hastalarda önemli düzeyde semptom yükü artar ve hastaların yaşam süresi azalır. Bu derleme çalışmasında, İAH olan bireylerde rehabilitasyona olan gereksinimin sebepleri hakkında bilgi vermeyi amaçladık. Ocak 2005 ile Aralık 2025 tarihleri arasında "İnterstisyel akciğer hastalığı, kas kuvveti, solunum fonksiyon testleri, sarkopeni, yaşam kalitesi" anahtar kelimeleri kullanılarak "Google Akademik, PubMed ve Scopus" üzerinden elektronik veri tabanları tarandı. İAH olan hastalarda solunum fonksiyon testi anormallikleri, kas zayıflığı, beslenme yetersizliği ve bozuklukları, dispne, solunum kas zayıflığı, sarkopeni ve yaşam kalitesinde azalma problemleri hastalığın ilk tanı anından itibaren görülebilmektedir. Hastalık ilerledikçe bu bozukluklar daha da belirgin hale gelmektedir. Bu sebeple bu hastaların rehabilitasyon uygulamalarına pulmoner rehabilitasyon ve özelleşmiş diyet programlarıyla takipler eklenmelidir.
Anahtar Kelimeler: İnterstisyel akciğer hastalığı, kas kuvveti, kilo kaybı, solunum fonksiyon testleri, sarkopeni, yaşam kalitesi

1. GİRİŞ
İnterstisyel akciğer hastalığı (İAH) 200'den fazla parankimal akciğer hastalığından oluşan heterojen bir gruptur. İAH'nda akciğer interstisyumunda hücresel inflamasyon ve fibrozis meydana gelmektedir (Lederer & Martinez 2018; Cottin et al., 2018). Bu kadar çok hastalıktan oluşan İAH'nda erken ve doğru tanı koymak zor olabilmektedir. Bu hastalar çoğunlukla göğüs hastalıkları uzmanları tarafından tedavi ve takip edilir, ancak hastanın durumuna göre romatologlar gibi diğer uzmanlar da ekibe dahil olabilmektedir (Schoenheit et al., 2011). İAH'lar idiyopatik interstisyel pnömoniler, otoimmün İAH'lar, hipersensitivite pnömonileri, sarkoidoz ve diğer İAH'ları olarak beş temel bölümde toparlanabilmektedir. İlerleyici fibrozis fenotipine sahip olma olasılığı en yüksek olan İAH tipleri arasında da idiyopatik pulmoner fibrozis, idiyopatik non-spesifik interstisyel pnömoni, otoimmün özelliklerle interstisyel pnömoni, sınıflandırılamayan idiyopatik interstisyel pnömoniler, romatoid artrit ilişkili İAH,

sistemik skleroz ilişkili İAH, hipersensitivite pnömonileri, sarkoidoz ve mesleksel maruziyetle ilişkili İAH'lar yer almaktadır (Cottin et al., 2018).

İdiyopatik pulmoner fibrozis, en iyi araştırılan ve en sık görülen kronik fibrotik akciğer hastalığıdır. Yıllar içerisinde idiyopatik pulmoner fibrozis için antifibrotik tedavi bulunmuş olmasına rağmen bu hastalık hala ilerleyici özelliktedir. İlerleyici fibrozis, akciğer skarlaşması ve olağan interstisyel pnömoni olarak bilinen radyolojik bir patern ile karakterizedir (Lederer & Martinez FJ, 2018; Raghu et al., 2022; Martinez et al., 2017; Richeldi et al., 2017). Klinik, radyolojik ve patolojik sunumlarının örtüşmesi nedeniyle, mevcut tedaviye rağmen ilerleyici bir fenotip sergileyebilen fibrozan İAH'ı olan hastaları tanımlamak için yakın zamanda kullanılan terminoloji 'ilerleyici fibrozan İAH' olmuştur (Flaherty et al., 2017; Mikolasch & Porter JC, 2014; Wells et al., 2018). İlerleyici fibrozan bir fenotip sergileyebilen İAH'nın ortak noktaları, ortak bir tedavi yolunun potansiyelini düşündürmektedir. Hastaların çoğunda inflamasyon ve fibrozis kombinasyonu bulunur. Bu hastalarda immün modülatör tedavinin etkinliği durumlar arasında değişkenlik gösterse de bazı alt gruplarda immün modülatör tedavi hastalığı stabilize eder ve/veya ilerlemesini yavaşlatır (Flaherty et al., 2017). Bununla birlikte, hipersensitivite pnömonisi veya bağ dokusu hastalığı ile ilişkili İAH gibi diğer İAH formları da mevcuttur. Bu İAH formlarında uygun immün supresyon tedavilerle hastaların klinik seyirlerinde stabilizasyon sağlanabilmektedir veya hastalar iyileşebilmektedir (Jee et al., 2021; Raghu et al., 2020). Çoğunlukla kronik seyirli olan İAH, hastalarda önemli düzeyde semptom yüküne sebep olarak hastaların yaşam süresinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca İAH sağlık sistemine önemli mali yük bindirmektedir (Lokke et al., 2023).

2. MATERYAL VE METOT

Bu derleme çalışmasında, İAH olan bireylerde çok yönlü bir rehabilitasyona olan gereksinimin sebepleri hakkında bilgi vermeyi amaçladık. Ocak 2005 ile Aralık 2025 tarihleri arasında "İnterstisyel akciğer hastalığı, kas kuvveti, solunum fonksiyon testleri, sarkopeni, yaşam kalitesi" anahtar kelimeleri kullanılarak "Google Akademik, PubMed ve Scopus" üzerinden elektronik veri tabanları tarandı. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İAH'nda sadece interstisyum değil, aynı zamanda alveoller, alveoler septum, küçük hava yolları, damarlar, lenfatikler, akciğer parankimi ve plevra da etkilenir. Akciğer dokusunda oluşan inflamasyon ve ilerleyici fibrozis nedeniyle akciğerlerde gaz değişimi bozulur ve hastaların karbonmonoksit için akciğer difüzyon kapasitesi (DLCO) değeri azalır (Maher 2024). Ayrıca, akciğerlerde elastik retraksiyon artarken toplam akciğer kapasitesi azalır. Hastalar hastalık ilerledikçe yorgunluk, hipoksemi ve ventilasyon yetersizliği problemleri yaşarlar (Antoine & Mlika 2023). Doku hipoksisi ve hipoksemi hem dinlenme sırasında hem de egzersiz sırasında görülür, bu durum hastaların solunum iş yükünü artırır. Kısır döngüye giren hastalar bu süreçte solunum kaslarında hipoksi ve kas yorgunluğu yaşarlar. Hastalar İAH'nın ilk dekatlarında genelde aktiviteler ve egzersiz sırasında şiddetli nefes darlığı hissederler, hastalığın ilerleyen zamanlarındaysa istirahatte de nefes darlığı ortaya çıkar (Gore & Demirel 2026). Nefes darlığı nedeniyle hastalar çeşitli fiziksel aktiviteleri daha az sıklıkla ve daha düşük yoğunlukta yaparlar (Swigris et al., 2005). Sonuçta İAH olan bireylerde fonksiyonel egzersiz kapasitesi azalır, nefes darlığı günlük yaşam aktivitelerinin her aşamasında belirgin bir

şekilde görülür (Maher 2024; Antoine & Mlika 2023; Gore & Demirel 2026; Swigris et al., 2005).

Doku hipoksisi, vücutta görülen yaygın inflamasyon, yetersiz beslenme, kasların aktif ve etkin bir şekilde kullanılmaması ve kortikosteroid ve immün supresif tedaviler gibi sebeplerle İAH olan bireylerde solunum kas zayıflığı da görülebilmektedir (Gore & Demirel 2026). İAH'ın akciğerlerde restriksiyon oluşturan bir hastalık olması durumu göz önüne alındığında, birinci saniyedeki zorlu ekspiratuar hacim (FEV_1) ve zorlu vital kapasite (FVC) hastalarda azalırken, FEV_1/FVC oranı ya değişmeden kalır ya da bir miktar artar. Solunum fonksiyon testinde saptanan bu değişiklikler hastalığın erken evrelerinde görülmeyebilir (Maher 2024; Antoine & Mlika 2023). Diğer yönden hastaların solunum fonksiyon testleri normal olsa bile, İAH olan hastalarda solunum kas kuvveti azalır. Başlangıçta, solunum kas zayıflığı egzersiz sırasında belirgindir. Ancak ilerleyen süreçlerde istirahatte hissedilen dispnenin şiddeti artar ve bu durum egzersiz kapasitesini bozar (Maher 2024; Antoine & Mlika 2023; Baydur et al., 2001).

Akciğer parankiminin ilerleyici fibrozisi kendi kendini sürdürür ve akciğer fonksiyonunda, solunum semptomlarında ve yaşam kalitesinde ilerleyici bozulmaya neden olur (Wells et al., 2018; Olson et al., 2016). Bu nedenle ilerleyici fibrozis İAH hastalarında erken ölüm riskini artırır. Pulmoner fibrozis bazen hastalık ilerlemesinin bir göstergesi olarak kabul edilir ve İAH ile ilişkili prognoz genellikle ilerleyici fibrozis varlığıyla kötüleşir (Flaherty et al., 2017). Diğer yönden, idiyopatik pulmoner fibrozis dışında, ilerleyici fibrozisli İAH, özellikle hastalık hafif şiddetteyse, klinik olarak stabil olabilir. Ayrıca, pulmoner fibrozis yokluğunda da ilerleyici bir İAH fenotipi mevcut olabilir. İAH'nın ilerleyici özellikte olmasıyla ilgili tek tip kabul görmüş kriter yoktur, ancak 24 aylık bir süre içinde aşağıdaki kriterlerden herhangi birini karşılayan hastaların hastalık ilerlemesi yaşadığı düşünülür (Flaherty et al., 2017; Bradley et al., 2008):

1. Zorlu vital kapasitede (FVC) %10 veya daha fazla nispi düşüş,
2. DLCO'da %15 veya daha fazla nispi düşüş veya
3. FVC'de <%5-10'luk nispi bir azalma ile birlikte kötüleşen semptomlar veya kötüleşen radyolojik görünüm.

İdiyopatik pulmoner fibrozis, parankimal skarlaşmaya bağlı olarak sinsi bir şekilde başlasa da fibrozis belirginleştikçe hastalarda istirahatte ve aktiviteler sırasında artan şiddette nefes darlığına neden olur. İdiyopatik pulmoner fibrozis ilerledikçe, hastalarda nefes darlığı daha da kötüleşir, fiziksel fonksiyonel kapasite azalır ve sağlıkla ilgili yaşam kalitesi bozulur (Olson et al., 2016). Diğer yönden ilerleyici fibrozis, inspiratuar solunum kaslarında direnç oluşturarak solunum iş yükünde artışa neden olabilmektedir. Bu nedenle, bazen İAH olan hastalarda solunum kas kuvvetinin göstergesi olan maksimal inspiratuar basınç değeri korunabilir (Gore & Demirel 2026).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Farmakolojik ajanlar İAH ilerlemesini yavaşlatmak için kullanılsa da semptomları ortadan kaldırmazlar (King et al., 2014). Bu nedenle pulmoner rehabilitasyon, İAH olan hastaların semptomlarını azaltmak için uygulanan tedavinin önemli bir parçası olarak bilinmektedir. Aerobik ve dirençli egzersiz eğitimleri, pulmoner rehabilitasyon kapsamında uygulanan başlıca egzersiz eğitimleridir (Dantes et al., 2019). Solunum kas kuvvetlendirme eğitimi, İAH olan hastalarda inspiratuar kas kuvvetini ve fonksiyonel egzersiz kapasitesini artırmaktadır, dispneyi azaltırken fonksiyonel egzersiz kapasitesini de iyileştirmede etkili bir egzersiz eğitimi uygulamasıdır. İnspiratuar kas eğitimi İAH olan hastalarda hem yüz yüze hem de uzaktan

telerehabilitasyon şeklinde güvenle uygulanabilir (Karadallı et al., 2016; Aktan et al., 2024; Zaki et al., 2023). Bu hastalarda sarkopeni kadar kötü beslenme ve kilo kaybı da kötü prognozla ilişkilidir (Weber et al. 2023; Kahai, et al., 2025; Suzuki et al., 2021). Bu sebeple sadece kas-iskelet sistemine yönelik rehabilitasyon uygulamaları beslenme ve diyet uzmanlarının hasta takibi eşliğinde yürütülmelidir (Kahai et al., 2025).

KAYNAKÇA

Aktan R, Tertemiz KC, Yiğit S, et al. Effects of home-based telerehabilitation-assisted inspiratory muscle training in patients with idiopathic pulmonary fibrosis: A randomized controlled trial. Respirology 2024; *29*(12), 1077-1084.

Antoine MH & Mlika M. Interstitial lung disease. In *StatPearls [internet]*. 2023. StatPearls Publishing.

Baydur A, Alsalek M, Louie SG, et al. Respiratory muscle strength, lung function, and dyspnea in patients with sarcoidosis. Chest 2001; *120*(1), 102-108.

Bradley B, BranleyHM, Egan JJ, et al. Interstitial lung disease guideline: the British Thoracic Society in collaboration with the Thoracic Society of Australia and New Zealand and the Irish Thoracic Society. Thorax 2008; 63: Suppl.5, v1–v58.

Cottin V, Hirani NA, Hotchkin DL, et al. Presentation, diagnosis and clinical course of the spectrum of progressive-fibrosing interstitial lung diseases. Eur Respir Rev 2018; 27: 180076.

Dantes E, Tudorache E, Man MA. The Role of Pulmonary rehabilitation in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. Interstitial Lung Diseases. (2019). IntechOpen.

Flaherty KR, Brown KK, Wells AU, et al. Design of the PF-ILD trial: a double-blind, randomised, placebo-controlled phase III trial of nintedanib in patients with progressive fibrosing interstitial lung disease. BMJ Open Respir Res 2017; 4: e000212.

Gore B & Demirel A. Effects of respiratory muscle training in patients with interstitial lung diseases: Systematic review. Heart & Lung 2026; *76*, 132-138.

Jee AS, Sheehy R, Hopkins P, et al. Diagnosis and management of connective tissue disease-associated interstitial lung disease in Australia and New Zealand: a position statement from the Thoracic Society of Australia and New Zealand. Respirology 2021; 26: 23–51.

Kahai R, Castelli G, Danzo F, et al. Specialist dietary intervention in patients with fibrotic interstitial lung disease experiencing unintentional weight loss: a pilot randomised controlled trial. Chest 2025; S0012-3692(25)05388-7.

Karadallı MN, Boşnak-Güçlü M, Camcıoğlu B, et al. Effects of inspiratory muscle training in subjects with sarcoidosis: a randomized controlled clinical trial. Respiratory care 2016; *61*(4), 483-494.

King Jr TE, Bradford WZ, Castro-Bernardini S, et al. A phase 3 trial of pirfenidone in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. New England journal of medicine 2014; *370*(22), 2083-2092.

Lederer DJ, Martinez FJ. Idiopathic pulmonary fibrosis. N Engl J Med 2018; 378: 1811–1823.

Lokke A, Castello L, Pinheiro Martins P, et al. Burden of disease and productivity loss in the European Economic Area in patients affected by fibrosing interstitial lung disease. Adv Ther 2023; 40: 5502–5518.

Maher TM. Interstitial lung disease: a review. Jama 2024; *331*(19), 1655-1665.

Martinez FJ, Collard HR, Pardo A, et al. Idiopathic pulmonary fibrosis. Nat Rev Dis Primers 2017; 3: 17074.
Mikolasch TA, Porter JC. Transbronchial cryobiopsy in the diagnosis of interstitial lung disease: a cool new approach. Respirology 2014; 19: 623–624.
Olson AL, Brown KK, Swigris JJ. Understanding and optimizing health-related quality of life and physical functional capacity in idiopathic pulmonary fibrosis. Patient Relat Outcome Meas 2016; 7: 29–35.
Raghu G, Remy-Jardin M, Richeldi L, et al. Idiopathic pulmonary fibrosis (an update) and progressive pulmonary fibrosis in adults: an official ATS/ERS/JRS/ALAT clinical practice guideline. Am J Respir Crit Care Med 2022; 205: e18–e47.
Raghu G, Remy-Jardin M, Ryerson CJ, et al. Diagnosis of hypersensitivity pneumonitis in adults. An official ATS/JRS/ALAT clinical practice guideline. Am J Respir Crit Care Med 2020; 202: e36–e69.
Richeldi L, Collard HR, Jones MG. Idiopathic pulmonary fibrosis. Lancet 2017; 389: 1941–1952.
Schoenheit G, Becattelli I, Cohen AH. Living with idiopathic pulmonary fibrosis: an in-depth qualitative survey of European patients. Chron Respir Dis 2011; 8: 225–231.
Suzuki Y, Aono Y, Kono M, et al. Cause of mortality and sarcopenia in patients with idiopathic pulmonary fibrosis receiving antifibrotic therapy. Respirology 2021; 26: 171–179.
Swigris JJ, Stewart AL, Gould MK, et al. Patients' perspectives on how idiopathic pulmonary fibrosis affects the quality of their lives. Health and quality of life outcomes 2005; *3*(1): 61.
Weber A, Müller I, Büchi AE, et al. Prevalence and assessment of frailty in interstitial lung disease – a systematic review and meta-analysis. Chron Respir Dis 2023; 20: 14799731231196582.
Wells AU, Brown KK, Flaherty KR, et al. What's in a name? That which we call IPF, by any other name would act the same. Eur Respir J 2018; 51: 1800692.
Zaki S, Moiz J A, Mujaddadi A, et al. Does inspiratory muscle training provide additional benefits during pulmonary rehabilitation in people with interstitial lung disease? A randomized control trial. Physiotherapy theory and practice 2023; *39*(3), 518-528.

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA AFET TATBİKATLARININ UYGULANMASI VE YETERLİLİK DÜZEYLERİ

Fatma Aygün ÇAKAR

Amasya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü,

fatmaygun_1@hotmail.com- 0009-0000-9725-9630

Doç. Dr. Harun YAKA

Amasya Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi,

harun.yaka@amasya.edu.tr- 0000-0003-4859-9609

ÖZET

Ülkemiz, jeolojik, meteorolojik ve topografik yapısı nedeniyle sıklıkla doğa kaynaklı afetlere maruz kalan bir coğrafyadır. Bu afetler nedeniyle çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Ortaya çıkabilecek kayıpları en aza indirebilmek için doğal afetlere karşı alınan önlemler büyük önem taşımaktadır. Doğal afetler öncesinde, sırasında ve sonrasında nasıl davranılması gerektiği ise alınan eğitimler ve yapılan tatbikatlara bağlıdır.

Okul öncesi eğitim kurumları, afetlere karşı gerekli tedbir ve önlemlere sahip olması gereken kurumların başında gelir. Çünkü çocukların yaşlarının küçük olması, verilen eğitimin etkisini ve bu eğitimin tatbikatlarla pekiştirilmesinin gerekliliğini daha da önemli kılmaktadır. Ayrıca, okullarda verilecek afet eğitimlerinin uygulamaya dayalı olması ve belirli aralıklarla tekrarlanması, bilgilerin kalıcılığı açısından gereklidir.

Bu çalışmanın amacı, afetlerle mücadele ve afetlere müdahalenin öğretimin ilk kademelerinden itibaren verilen eğitimlerle desteklenerek, öğrencilerin daha bilinçli ve belirli becerilere sahip bireyler olarak topluma kazandırılmasını sağlamaktır. Aynı zamanda, afet tatbikatları konusunda okullarda öğretmen ve idarecilerin yeterli düzeyde uygulamalara yer verip vermediklerini belirlemektir. Bu amaçla, geçmişte yapılan çalışmalar ve raporlar taranmış; elde edilen veriler, anaokullarında görev yapan idareci ve öğretmenlere uygulanan “Tatbikat Uygulama ve Yeterlilik Formu” ile ölçülmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak, okulda afet ve acil durum yönetimi kapsamında temel yapıların oluşturulduğu ve olumlu adımlar atıldığı görülmektedir. Ancak eğitimlerin yaygınlaştırılması, tatbikatların etkinleştirilmesi, ekipmanların düzenli kontrollerinin sağlanması gerekmektedir.Bunun yanı sıra özel gereksinimli bireyler için kapsayıcı planların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu alanlardaki iyileştirmeler, okulun afetlere karşı dirençliliğini ve kriz anlarında müdahale kapasitesini önemli ölçüde artıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Afet eğitimi1, Okul öncesi eğitim kurumları2, Acil durum hazırlığı3, Afet tatbikatları4, Erken çocukluk eğitimi5

1. GİRİŞ

Afetler, insanların olağan yaşam sürecini bozarak, can ve mal kayıplarına neden olan, sosyal ve ekonomik kaynakların yok olmasıyla ya da zarar görmesiyle sonuçlanabilen, yerel kaynakların yetersiz kalabildiği durumlarda dış yardım gereksinimi doğuran, çevresel olaylardır ((Tzeng vd., 2016)). Aslında afet dediğimiz olgu olayın kendisi değil, oluşturduğu sonuçlarıdır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2020).

Afetlerin ortaya çıkışı insanlık tarihi kadar eskidir. Mevcut tarihsel kaynaklar, dünyanın farklı kıtalarında çeşitli dönemlerde meydana gelen afetlere ilişkin kayıtlar içermektedir. Bu afetler, bulundukları dönemde ciddi can kayıplarına ve maddi zararlara neden olmuştur. Tarihsel olarak incelendiğinde, geçmişte meydana gelen afetlerin sonuçları ile günümüzde yaşanan afetlerin etkileri arasında benzerlikler olduğu görülmektedir.

Ancak afetlerin etkileri her toplumda aynı düzeyde hissedilmemektedir. Can ve mal kayıplarındaki farklılıkların temel nedenleri arasında, toplumların afet deneyimlerinden elde ettikleri dersler doğrultusunda geliştirdikleri önleyici ve hazırlık odaklı stratejiler ile afetlerin meydana gelme sıklığındaki farklılıklar yer almaktadır. Bu bağlamda, afetlere karşı toplumsal bilinç düzeyi, yapısal önlemler ve kurumsal kapasite gibi etmenler, afetin sonuçlarını doğrudan etkilemektedir (Erkal ve Değerliyurt, 20095).

Türkiye, doğal yapısı, coğrafi konumu ile birlikte fiziksel ve sosyo-ekonomik kırılganlıkları nedeniyle başta depremler olmak üzere sel, heyelan, çığ, kuraklık ve orman yangınları gibi çok çeşitli afetlere sıkça maruz kalmaktadır. Bu afetler, ülkenin farklı bölgelerinde farklı sıklık ve şiddet düzeylerinde meydana gelmekte; can kaybı, ekonomik zararlar ve toplumsal etkiler açısından ciddi sonuçlar doğurmaktadır.

Genel kabul gören bir yaklaşıma göre, doğal tehlikeler çoğunlukla önlenemez niteliktedir. Ancak bu tehlikelerin afete dönüşmesi, büyük ölçüde toplumların bu olaylara karşı geliştirdiği başa çıkma kapasitesinin yetersiz kalmasıyla ilişkilidir. Başka bir ifadeyle, bir tehlikenin afete dönüşmesi, ilgili topluluğun bu olayın etkilerini yönetememesi ve mevcut kaynaklarıyla müdahalede bulunamaması durumunda söz konusu olmaktadır (IFRC, 2009).

Geçmişten günümüze Türkiye'de afetlerle ilgili yürütülen çalışmalar ve afet istatistikleri incelendiğinde, ülkenin başta depremler olmak üzere doğal ve teknolojik kaynaklı afetlere sıkça maruz kaldığı görülmektedir. Özellikle son yıllarda meydana gelen depremler, orman yangınları ve sel felaketleri, afet riskinin boyutunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu afetler arasında en yıkıcı olanı, 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçelerinde meydana gelen iki büyük depremdir. Bu depremler sonucunda on binlerce kişi hayatını kaybetmiş, çok sayıda kişi yaralanmış ve ciddi düzeyde ekonomik kayıp yaşanmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2023).

Bunun yanı sıra, 2021 yılı yaz aylarında Türkiye, Cumhuriyet tarihinin en geniş alanlara yayılan orman yangınlarından bazılarını yaşamıştır. 28 Temmuz-10 Ağustos tarihleri arasında özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerinde yoğunlaşan yangınlar, binlerce hektarlık orman alanının tahrip olmasına neden olmuştur. Aynı yılın 11 Ağustos tarihinde Batı Karadeniz bölgesinde meydana

gelen yoğun yağışlar, başta Kastamonu'nun Bozkurt ilçesi olmak üzere Sinop ve Bartın illerinde ciddi sel felaketlerine yol açmıştır. Bu afetlerde çok sayıda can kaybı yaşanmış, altyapı büyük oranda zarar görmüştür.

Sadece birkaç yıl içerisinde yaşanan bu büyük ölçekli afetler, Türkiye'nin afet riski açısından ne denli kırılgan bir konumda bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, afetlere karşı önceden planlama yapılması, risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi ve afet sonrası müdahale kapasitesinin güçlendirilmesi gerekliliğini açıkça göstermektedir (Özmen, 2023).

Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi, Türkiye'nin de afet risklerini en aza indirmek ve yerleşim yerlerini afetlere karşı dirençli hale getirmek amacıyla çeşitli çalışmalar yürütmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, afet ve acil durum planlarının hazırlanması ve bu planların etkin bir şekilde uygulanması büyük önem taşımaktadır. Doğal ve teknolojik kaynaklı tehlikelere karşı önceden önleyici ve risk azaltıcı önlemler almayan ülkeler, şehirler veya toplumlar; afetle karşılaştıklarında olayları en az kayıpla atlatma ve afete hızlı ve etkili şekilde müdahale etme konusunda ciddi zorluklar yaşamaktadır (Özmen, 2017).

Literatür incelendiğinde, Türkiye'de okul öncesi eğitim kurumlarında gerçekleştirilmesi gereken afet tatbikatlarına yönelik çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Dünya genelinde okullarda afet ve acil durum yönetimi konusunda birçok kapsamlı araştırma yürütülmüşken, Türkiye'de bu alandaki çalışmaların hem sayıca az hem de içerik bakımından yetersiz olduğu dikkat çekmektedir. Mevcut çalışmaların önemli bir bölümünde temel kavramların yeterince net tanımlanmadığı ve uluslararası literatürle tam anlamıyla örtüşmediği gözlemlenmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, okul öncesi eğitim kurumlarında gerçekleştirilen afet tatbikatlarını incelemek ve bu tatbikatların yeterlilik düzeylerini değerlendirmektir.

Afet

Afet, olağan yaşam akışını ve insani faaliyetleri ciddi şekilde sekteye uğratan; toplumsal yapıda fiziksel, ekonomik ve sosyal düzeyde kayıplara yol açan doğal ya da insan kaynaklı olaylar olarak tanımlanmaktadır. Afetin şiddeti ve etkisi, çoğunlukla meydana getirdiği can kaybı, yaralanma sayısı, altyapı ve üstyapılarda oluşan hasarlar ile sosyal ve ekonomik sistemler üzerindeki olumsuz etkilerin boyutuna göre değerlendirilmektedir (Doğan, 2020). Afet kavramı içerisinde en değerli ve öncelikli unsur insan canıdır; bu nedenle kamuoyunda afetin büyüklüğü genellikle yol açtığı can kaybı ve yaralanmaların büyüklüğü üzerinden değerlendirilme eğilimindedir. Ancak afetin büyüklüğünü etkileyen faktörler çok daha kapsamlıdır ve aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

- Olayın fiziksel büyüklüğü,
- Olayın yoğun yerleşim alanlarına olan yakınlığı,
- Sosyo-ekonomik faktörler, özellikle fakirlik ve kalkınma düzeyi,
- Hızlı ve kontrolsüz nüfus artışı,
- Tehlikeli bölgelerdeki plansız kentleşme ve endüstrileşme,
- Ormanların ve doğal çevrenin tahribi veya yanlış kullanımı,
- Bilgi eksikliği ve eğitim yetersizliği,
- Toplumun afetlere karşı önceden aldığı koruyucu ve önleyici tedbirlerin kapsamı ve etkinliği.

Bu faktörler arasında, olayın fiziksel büyüklüğü ve yerleşim merkezlerine olan mesafe doğal kökenli olup, diğer tüm etkenler büyük ölçüde insan faaliyetleriyle ilişkilidir (Ergünay vd., 2009).

Afet yönetimi, afetlerin önlenmesi ve zararlarının azaltılması amacıyla, afet öncesinde, sırasında ve sonrasında yapılması gereken faaliyetlerin planlanması, yönlendirilmesi, koordine edilmesi ve uygulanması sürecidir. Bu süreç, toplumun tüm kurum ve kuruluşlarının kaynaklarının ortak hedef doğrultusunda etkin şekilde yönetilmesini gerektiren; çok yönlü, çok disiplinli, çok aktörlü, kapsamlı, dinamik ve karmaşık bir yönetim modelidir (Tercan, 2020).

Afet yönetimi süreci ya da diğer adıyla afet döngüsü, Türkiye'de 1999 öncesinde daha çok "kriz yönetimi" odaklı yürütülürken, 1999 Marmara Depremi sonrasında "risk yönetimi" yaklaşımına geçilmiştir. Bu süreç, öncelikli olarak "önleme" ya da zarar azaltma politikalarının benimsenmesiyle başlar. Ardından, afet ve acil durumlarda ortaya çıkabilecek zararların önlenmesi veya azaltılması amacıyla uygulanan risk yönetimi ve önleyici tedbirler içeren "zarar azaltma" aşamasına geçilir.

Zarar azaltma; belirli bir bölge veya kesim için hazırlanan afet senaryolarına dayanarak, olası risklerin önlenmesi, kabul edilebilir seviyelere indirilmesi veya paylaşılması amacıyla planlı ve sistematik müdahaleleri ifade eder.

Hazırlık aşaması, afet ve acil durumlara etkin müdahale sağlamak üzere önceden gerçekleştirilen tüm faaliyetleri kapsar. Müdahale ise afet ve acil durumlar sırasında can ve mal kayıplarını en aza indirmeye yönelik kurtarma, sağlık hizmetleri, barınma, güvenlik, mal ve çevre koruma ile sosyal ve psikolojik destek faaliyetlerini içerir. Son olarak, iyileştirme aşaması; afet sonrası bozulan yaşam koşullarının normale döndürülmesi ve yeniden yapılanma çalışmalarını kapsamaktadır (İçişleri Bakanlığı ve İB-İTÜ, 2002).

Afet eğitimi,

Türkiye'de meydana gelen afetlerin sıklığının artması, toplumun bilgi düzeyinin yükseltilmesi ve tehlikelere karşı farkındalığının artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Afetlerin oluşumundan önce etkili bir hazırlık sürecinin sürdürülebilmesi, afet eğitiminin vazgeçilmez bir unsur haline gelmesini sağlamıştır. Afet eğitiminin temel amacı, toplumların afetlere karşı direncini güçlendirerek, afet öncesi hazırlıkların etkinliğini artırmak ve afet sonrasında sürece azami katkı sunmaktır.

Bu eğitimler vasıtasıyla, afet anlarında bireylerin ve toplulukların güvenlik düzeylerinin yükseltilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, afet yönetimi süreçlerinde görev alan bireylerin ve kurumların doğru bilgiye sahip olmaları ve bu bilgiyi etkin biçimde kullanabilmeleri sağlanmaktadır (Mızrak, 2018).

Okullarda Afet Yönetimi,

Okullar, afet durumlarında yöneticileri ve öğretmenleriyle birlikte öğrencilerini ve okul ortamını korumakla yükümlüdür. Bu nedenle, öğretmenlerin doğal afetler karşısında durumu yönetme ve müdahale becerilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle deprem başta olmak üzere çeşitli afetlere karşı, okul yöneticileri, öğretmenler ve öğrencilerin velileri bir araya gelerek afet sonrası ortak hareketi sağlamak amacıyla "Okul Afet Planı" hazırlamak zorundadır.

Bu plan hazırlanırken, okulun mevcut fiziki yapısı, okul personelinin afet yönetimi konusundaki bilgi düzeyi, öğrenci sayısı ve yaş gruplarına göre verilen afet eğitimi, okulun olası afetlere karşı dayanıklılığı ve velilerin destek düzeyi dikkate alınmalıdır (UNICEF, 2010).

Okullarda güvenli ortamların sağlanması hem sosyal hem de fiziksel açıdan büyük önem taşımaktadır. Okul güvenliği, yalnızca sosyal risklere karşı önlemler almakla sağlanamaz (Kuru ve Kazancı, 2023). Okullar, bulundukları coğrafi konumun getirdiği riskler doğrultusunda, örneğin yangın veya deprem gibi afetlere karşı düzenli tahliye tatbikatları gerçekleştirmelidir. Bu tatbikatlar, okul topluluğunun acil durumlarla başa çıkma kapasitesini artırmak adına kritik bir rol oynamaktadır. Temel amaç, her okulun özgün risklerini belirleyerek bu riskleri en aza indirmek ve doğru davranış biçimlerini tüm paydaşlara benimsetmektir. (Özmen, 2006)).

Okullarda Afete Hazırlık Çalışmaları

- Afet planları hazırlanmalı ve bu planlar düzenli aralıklarla güncellenmelidir. Bu planlarda, öğrenci tahliye yolları, toplanma alanları, iletişim protokolleri ve diğer kritik bilgiler ayrıntılı şekilde yer almalıdır.
- Okul personeli ve öğrencilere, afetlere karşı hazırlıklı olmalarını sağlayacak eğitimler verilmelidir. Bu eğitimler, afetlerin ciddiyetini kavramalarına ve güvenli davranış biçimlerini öğrenmelerine yardımcı olur.
- Düzenli olarak gerçekleştirilen tatbikatlar ve senaryo çalışmaları hem öğrencilerin hem de personelin afet anında nasıl hareket edeceklerini öğrenmelerini sağlar. Bu uygulamalar, hızlı ve etkili tahliye becerilerinin geliştirilmesine katkı sunar.
- Afetlerin etkisi altındaki öğrencilere ve personele yönelik psikososyal destek planları oluşturulmalıdır. Bu destek, travma sonrası stresin etkilerinin azaltılmasında önemli bir rol oynar.
- Binalarında acil çıkışları gösteren işaretlerin uygun ve görünür şekilde yerleştirilmesi, afet durumlarında bireylerin doğru yönlendirilmesini kolaylaştırır (Ertürkmen, 2006).

Eğitim ilk basamağı olan okul öncesi eğitimi çocukların okul hayatına başladığı ilk aşamayı temsil etmektedir. Aynı zamanda çocukları doğmuş oldukları sosyal ortama her bakımdan hazırlamakla yükümlüdürler. Bu sorumluluk doğrultusunda, bireyin gelecekte yaşadığı topluma yararlı ve bilinçli bir birey olarak yetişmesinde önemli bir rol üstlenirler. Çocukların geleceğinden sorumlu olan bu kurumlar, erken eğitimin bireyin yaşamı boyunca taşıyacağı etkilerin farkındadır. Bu nedenle, temel bilgi ve becerilerin kazandırılmasının yanı sıra, bireyleri içinde bulunacakları toplumun ahlaki değerleriyle de şekillendirirler. Bu bağlamda, okul öncesi eğitim çocukların gelişimi için hem önemli hem de gereklidir (Yavuzer, 2002).

Çocuklar, afetler karşısında en yüksek zarar görme riski taşıyan gruplar arasında yer almaktadır. Okul öncesi eğitim dönemi, çocukların günlük yaşamlarında kullanacakları temel bilgi ve becerilerin kalıcı şekilde öğrenildiği bir süreçtir. Bu nedenle, bu yaş grubuna yönelik verilen afet eğitimi, çocukların bilinçlenmesinde kritik bir rol oynar. Afetlerin nasıl hazır olunur ve yaşam süreci içerisinde güvenli ortamlarda bulunma gibi konulara yönelik yapılan bilgilendirici çalışmalar, çocukların olabilecek afet durumlarında kendi güvenliklerini koruyabilmeleri açısından önem arz etmektedir.

Afetlere karşı farkındalık geliştirme ile ilgili eğitimler, çocuklarda etrafına karşı duyarlı olmasını ve temelde kazanılması gereken becerilerinin gelişmesi amaçlanmaktadır. Bu süreçte seçilecek öğretim yöntemleri arasında en uygunu oyun temelli yaklaşımlar ve çocukların görsel olarak algılanabileceği sunum şeklinde düzenlenmiş seminerler yer alır. Çocukların yaparak yaşayarak öğrenime deneyimini geliştirmeleri açısından çok kapan tutun stilini ve olay yerinden dışarı çıkış aşamalarına yani tahliye süreçleri de aynı zamanda uygulama içerisinde verilmelidir. Ayrıca, 3-6 yaş aralığındaki çocukların dikkat süreleri göz önüne alındığında öğrenme süreçleri onların bilişsel düzeylerine uygun şekilde çizgi filmler, maket anlatımlar ve çeşitli oyunlarla desteklenmelidir.

Bunun yanı sıra, günümüzde fırsat eğitim olarak adlandırılan önceden belirlenmiş bir plan olmaksızın çocukların deneyimleyerek öğrenmelerini fırsat tanıyan yöntemlerin de kullanılması bu tür eğitimlerde önemli bir yer tutmaktadır. Örnek verecek olursak çoğunlukla çocukların evde yaşayabileceği küçük kazalar ve bu kazalar sonrasında yetişkinlerin bu kazalara verdikleri tepkiler çocukların görerek öğrenme yetisi ile pekişebilmektedir ya da televizyon programındaki afet belgeselleri, fırsat eğitimde örnek teşkil etmektedir (AFAD, 2014).

Planlama sürecinin en önemli ve kritik unsurlarından biri olan eğitim, çalışanların üzerlerine düşen sorumlulukları benimsemelerini sağlar. Afet anlarında bireyler genellikle panik yaşamakta ve bu durum zararların ve kayıpların artmasına yol açabilmektedir. Bu durumu önlemenin en etkili yolu, afet yönetimi görevinde bulunan kişilerin ve afetlere maruz kalan kişilerin afet öncesinde afetlerle ilgili gerekli bilgi ve uygulamalı eğitimleri almış olmaları gerekmektedir.

Herhangi bir afet gerçekleştikten sonra oluşabilecek kayıpların önlenmesi ya da asgari düzeye indirilmesi ile eğitim öğretim faaliyetlerinin kesintisiz sürebilmesi için yapılması gerekenler açıkça belirtilmeli, işin sürekliliği noktasında belirli bir plan hazırlanarak bu bir plan doğrultusunda düzenli bir şekilde uygulamalarla pekiştirilmelidir. Okul için hazırlanacak afet planı kapsamında yıl içerisinde yapılabilecek tatbikat programı oluşturulmalıdır (ISMEP, 2009). Okul içerisinde oluşabilecek bir tehlike anında bu davranışların önceden prova edilmesi, olay anında çocukların panik olmadan yapılabilecekleri bilmeleri çocuk güvenliği açısından doğru davranışlara yönlendirmesini sağlamaktadır.

Okullardaki uygulamalar esnasında çocukların çıkış yollarını düzenli olarak kullanılmalı ve çıkış yolu engelli bireylerin de rahatlıkla çıkabileceği şekilde düzenlenmelidir. Herhangi bir olayda tahliye esnasında yol üzerinin kapanma ihtimaline karşı personel sürekli Bilgilendirilmeli ve alternatif farklı çıkış noktaları üzerinde çalışmalar yapılmalıdır (Atalay, 2014).

UNICEF (2011) tarafından hazırlanan raporda, doğal afetlere karşı hazırlıklı olunmasının gerekliliği vurgulanmakta; bu kapsamda afet planlarının hazırlanması ve düzenli tatbikatların gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Olabilirliği daha yüksek olan yangın gibi afetlere karşı müdahale edebilecek kişilerin mutlaka öncesinde bununla ilgili uygulama yapması ve çeşitli periyotlarda bunu tekrarlaması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca afet anlarında bireylerin genellikle çok korktukları ve bu korku anında ne yapacaklarını bilemedikleri için can kaybına uğradıkları söylenebilmektedir. Dolayısıyla çocukların da böyle bir afet anında korkmadan hareket etmelerini sağlamak amacıyla hem çocukların hem de okul personelinin afetlere hazırlıklı olması için gerekli bilgi ve uygulamalı eğitimleri önceden almaları gerekmektedir (Elgin, 2009).

Türkiye'de Millî Eğitim Bakanlığı ve diğer ilgili kurumlar tarafından doğal afetlere karşı hazırlıklı olma bilincini artırmak amacıyla birçok proje hayata geçirilmiştir. Bu projelerle bireyler ve kurum yöneticileri daha bilinçli hale gelmiştir. Ayrıca, Başbakanlığa bağlı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından ülkemizin afetlere karşı hazırlıklı olması için çok sayıda çalışma yürütülmektedir. Bu kapsamda, anaokullarında görev yapan öğretmen ve diğer personelin, yaz tatili gibi uygun zaman dilimlerinde verilen seminerlerle deprem, yangın gibi olası tehlikelere karşı hazırlıklı olmalarının sağlanması önemli bir katkı sunmaktadır. Ayrıca, üniversitelerin Çocuk Gelişimi Bölümlerinde bu konunun seminer dersleri kapsamında işlenmesi, farkındalık ve bilinçlendirme çalışmalarının etkinliğini artıracaktır (İnandı, 2008).

2. MATERYAL VE METOD

Bu araştırma, okul öncesi eğitim kurumlarında gerçekleştirilen afet tatbikatları ile bu tatbikatların yeterlilik düzeylerinin incelenmesini amaçlayan tanımlayıcı bir çalışmadır. Araştırmaya Türkiye genelinde bulunan anaokulu ve anasınıflarında görev yapan yönetici ve öğretmenler katılım sağlamıştır. Veri toplama sürecinde, sorular hazırlanırken kapsamlı bir literatür taraması yapılmış; Millî Eğitim Bakanlığı Afet ve Acil Durum Uygulamaları Yönergesi (MEB, 2021), AFAD Afet Farkındalık Eğitimi İçeriği (AFAD, 2020), ilgili bilimsel çalışmalar ve üç farklı uzmanın görüşleri dikkate alınmıştır.

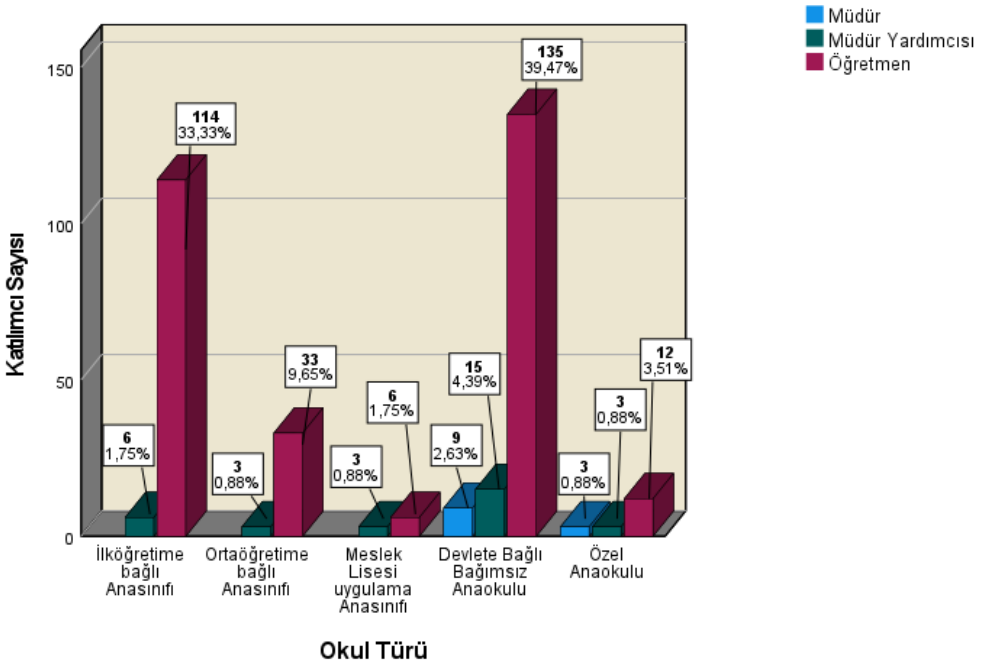
Sorular, PUKÖ (Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al) döngüsünün aşamalarına göre tasarlanmıştır. PUKÖ döngüsü, ekiplerin tekrarlayan hatalardan kaçınmalarını ve süreçlerin sürekli iyileştirilmesini sağlayan dört aşamalı temel bir yöntemdir (Deming, 1986; International Organization for Standardization [ISO], 2015). Bu doğrultuda, kaynaklardan yararlanılarak "Okul Öncesi Eğitim Kurumlarındaki Afete Hazırlık Çalışmalarının İncelenmesi Anketi" hazırlanmıştır. Anket, dört adet demografik sorudan ve afete hazırlık çalışmalarıyla ilgili 22 sorudan oluşmaktadır.

Anket soruları, 5'li Likert ölçeği ile değerlendirilmiştir. Katılımcılardan, her soruya "Kesinlikle Katılıyorum", "Katılıyorum", "Kararsızım", "Kısmen Katılıyorum" ve "Katılmıyorum" seçenekleriyle yanıt vermeleri istenmiş; puanlama sırasıyla 1'den 5'e kadar yapılmıştır (Kesinlikle Katılıyorum=1, Katılıyorum=2, Kararsızım=3, Kısmen Katılıyorum=4, Katılmıyorum=5).

Toplanan veriler SPSS 25 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediği, çarpıklık ve basıklık katsayıları yardımıyla değerlendirilmiştir. Normal dağılıma uygun sürekli değişkenlerin ikiden fazla bağımsız grup arasında karşılaştırılması için One-Way ANOVA testi uygulanmıştır. Analizlerde anlamlılık düzeyi 0,05 olarak kabul edilmiş olup, $p<0,05$ sonuçları istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların varlığı; $p>0,05$ sonuçları ise anlamlı farklılık bulunmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Elde edilen bulgular, tablo ve açıklamalar halinde sunulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmaya katılan okul öncesi eğitim kurumlarında görevli idareci ve öğretmenlerin %98,7'si kadın, %1,3'ü erkektir. Yaş dağılımı 22-35 yaş arasında 29, 36-50 yaş arasında 47 ve 50 yaş üstü 2 kişiden oluşmaktadır. Görevlerine göre katılımcıların çoğunluğunu öğretmenler (%77) oluştururken, müdür ve müdür yardımcıları daha az orandadır. Katılımcılar farklı okul türlerinde görev yapmakta olup, en fazla devlet anaokullarında çalışmaktadırlar.



Grafik 1. Okuldaki Göreve Göre Okul Türü Dağılımı (Frekans ve Yüzde)

Grafikte katılımcıların görevlerine göre (müdür, müdür yardımcısı ve öğretmen) çalıştıkları okul türlerinin frekans ve yüzde dağılımları gösterilmektedir. Veriler, katılımcıların büyük çoğunluğunun öğretmen olduğunu ve en yoğun şekilde devlete bağlı bağımsız anaokullarında ve ilköğretime bağlı anasınıflarında görev yaptığını ortaya koymaktadır.

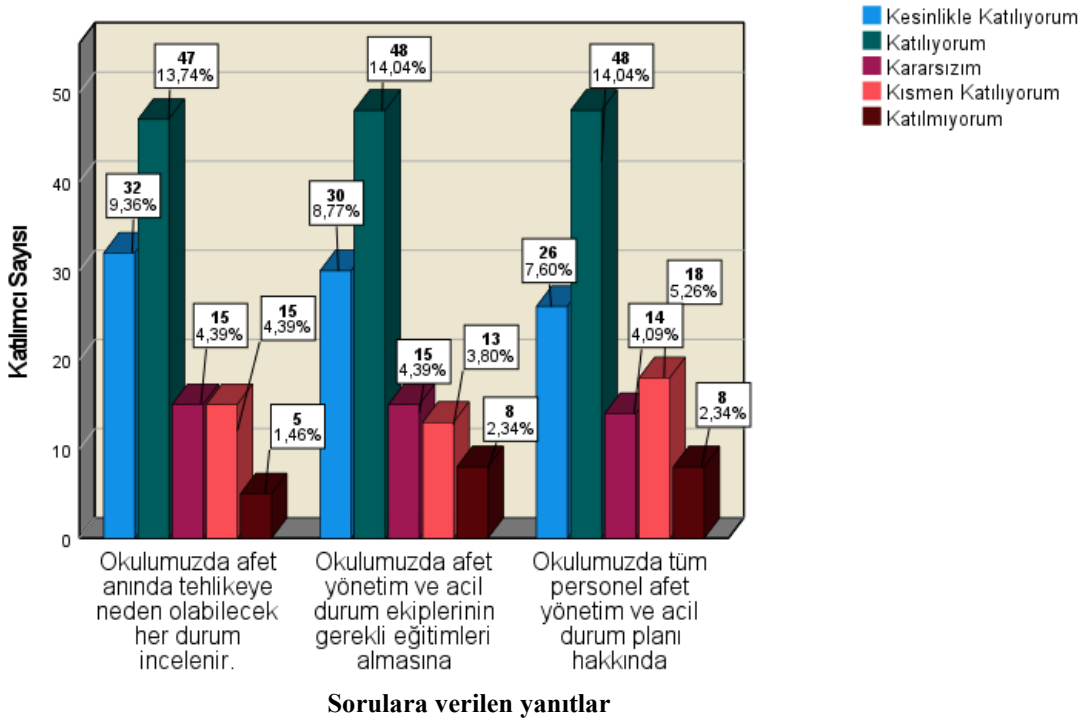
Öncelikle okul türleri incelendiğinde, devlete bağlı bağımsız anaokulları 135 öğretmen ile toplam örneklemin en yüksek oranına (%39,47) sahiptir. Bu durum, bağımsız anaokullarının okul öncesi eğitimde temel kurumu oluşturduğunu ve öğretmen istihdamının büyük ölçüde bu kurumlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Bunu ilköğretime bağlı anasınıfları 114 öğretmen ile ikinci sırada (%33,33) takip etmektedir. Dolayısıyla, örneklemdeki öğretmen dağılımı ağırlıklı olarak iki okul türünde toplanmış olup toplamın yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır.

Ortaöğretime bağlı anasınıflarında görev yapan öğretmen sayısının (n=33; %9,65) belirgin şekilde düşük olduğu, meslek lisesi uygulama anasınıflarında (n=6; %1,75) ve özel anaokullarında (n=12; %3,51) ise oldukça sınırlı bir katılım bulunduğu görülmektedir. Bu durum, hem öğretmen istihdamının hem de okul öncesi eğitimin devlet kurumlarında yoğunlaştığını göstermektedir.

Yönetsel pozisyonlara bakıldığında, tüm okul türlerinde müdür (mavi) ve müdür yardımcısı (yeşil) sayılarının oldukça düşük olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin, devlete bağlı bağımsız anaokullarında 15 müdür (%4,39) ve 9 müdür yardımcısı (%2,63) bulunmaktadır. İlköğretime bağlı anasınıflarında ise 6 müdür (%1,75) ve 3 müdür yardımcısı (%0,88) yer almaktadır. Diğer okul türlerinde yöneticilerin sayısı daha da sınırlıdır. Bu durum, örneklemin öğretmen ağırlıklı biçimde dağıldığını ve yönetici katılımının düşük olduğunu göstermektedir.

Özetle, grafik okul türlerine göre katılımcı dağılımının oldukça dengesiz olduğunu, öğretmenlerin özellikle devlet kurumlarında yoğunlaştığını ve yönetsel pozisyonlardaki katılımın sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, araştırmanın temel bulgularını

destekler nitelikte olup okul öncesi eğitimde kurumsal yoğunlaşmanın devlet okullarında gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca yönetsel kadroların sınırlı sayıda temsil edilmesi, araştırmada öğretmen görüşlerinin daha baskın olduğunu düşündürmektedir.



Grafik 2. Afet Yönetimi ve Acil Durum Uygulamalarına İlişkin Görüşlerin Değerlendirilmesi

Grafikte, katılımcıların okullarındaki afet yönetimi ve acil durum uygulamalarına ilişkin görüşlerini beşli Likert ölçeği (Kesinlikle Katılıyorum–Katılmıyorum) üzerinden göstermektedir. Üç ifadeye verilen yanıtlar incelendiğinde, genel olarak katılımcıların okul temelli afet yönetimi uygulamalarının önemli bir bölümünün yürütüldüğünü düşündükleri, ancak bazı alanlarda kararsızlıkların ve kısmi katılımın görece yüksek olduğu görülmektedir.

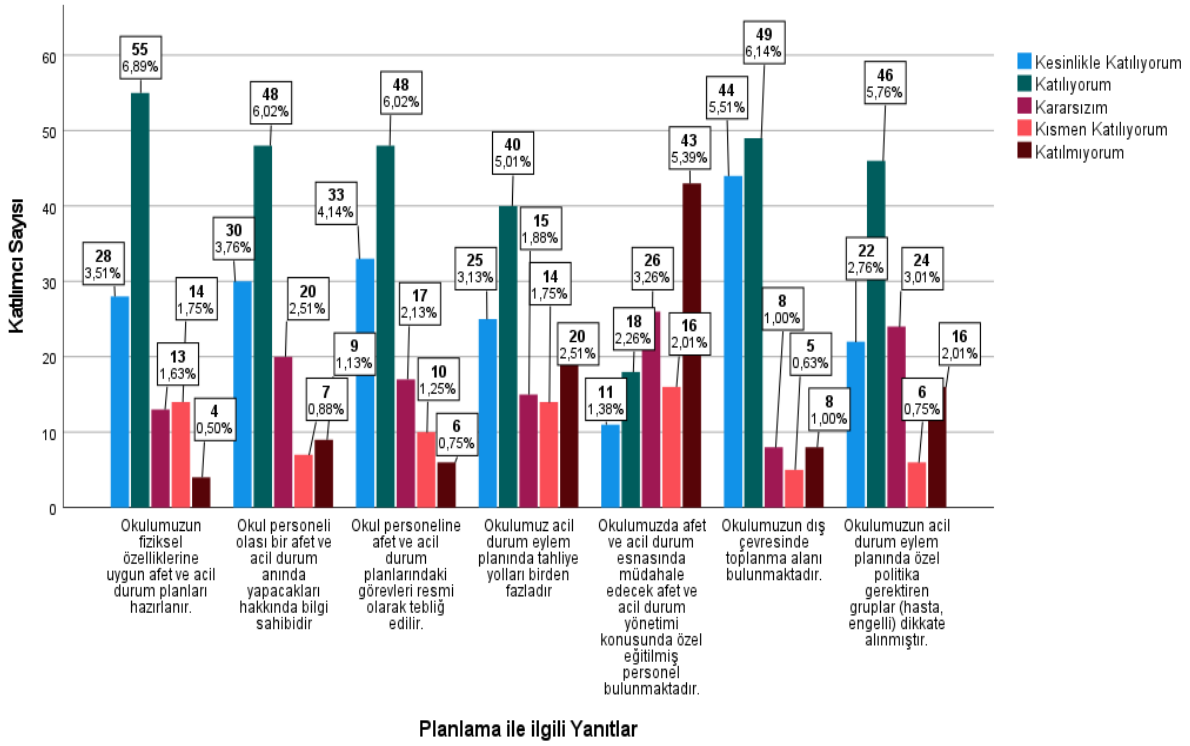
İlk ifade olan "Okulumuzda afet anında tehlikeye neden olabilecek her durum incelenir." maddesinde, katılımcıların büyük çoğunluğu kesinlikle katılıyorum (n=47; %13,74) ve katılıyorum (n=32; %9,36) seçeneklerinde yoğunlaşmıştır. Bu bulgu, okulların risk değerlendirme süreçlerini büyük ölçüde yerine getirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, kararsız (n=15; %4,39) ve kısmen katılıyorum (n=15; %4,39) yanıtları, risk incelemelerinin bazı okullarda yeterince sistematik yürütülmediğine işaret etmektedir. Katılmıyorum seçeneğinin düşük olması (n=5; %1,46), uygulamaların çoğu okulda en azından belirli düzeyde yapıldığını düşündürmektedir.

İkinci ifade olan "Okulumuzda Afet Yönetim ve Acil Durum Ekiplerinin Eğitimlerinin Yöneticiler Tarafından Desteklenmesi" ne İlişkin yönelik görüşlerde yine olumlu görüşlerin ağırlıkta olduğu görülmektedir. Kesinlikle katılıyorum (n=48; %14,04) ve katılıyorum (n=30; %8,77) yanıtları toplamın önemli bölümünü oluşturmaktadır. Ancak kararsız (n=15; %4,39) ve kısmen katılıyorum (n=13; %3,80) yanıtlarının da kayda değer düzeyde olması, eğitimlerin tüm okullarda düzenli ve sistematik biçimde yapılmadığını düşündürmektedir. Katılmıyorum (n=8;

%2,34) seçeneğinin varlığı ise bazı okullarda eğitim eksikliğinin belirgin olduğunu göstermektedir.

Üçüncü ifade olan "Okulumuzda Tüm Personelin Afet Yönetim ve Acil Durum Planı Hakkında Bilgilendirilmesi"ne ilişkin görüşler maddesinde de benzer bir dağılım görülmektedir. Kesinlikle katılıyorum (n=48; %14,04) ve katılıyorum (n=26; %7,60) yanıtları, okulların afet yönetimi planlarını personelle paylaşma konusunda genel bir standart oluşturduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, kararsız (n=14; %4,09) ve kısmen katılıyorum (n=18; %5,26) oranlarının önceki iki maddeye göre daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, planların tüm personele eksiksiz duyurulması ve açıklanması konusunda uygulamada tutarsızlıklar bulunduğunu göstermektedir. Katılmıyorum yanıtı (n=8; %2,34) ise bazı okullarda kriz planlarının personele yeterince aktarılmadığını ortaya koymaktadır.

Genel olarak grafik, okullarda afet yönetimi süreçlerine ilişkin farkındalığın ve uygulamaların büyük ölçüde olumlu olduğunu göstermektedir. Ancak kararsız ve kısmi katılım oranlarının bazı maddelerde belirgin düzeyde olması, afet yönetimi eğitimlerinin ve bilgilendirme süreçlerinin tüm okullar için standart bir yapıya kavuşturulmadığını göstermektedir. Bu bulgular, afet yönetimi planlarının hazırlanması kadar bunların personele aktarılması ve düzenli eğitimlerle desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir.



Grafik 3. Okulda Afet ve Acil Durum Planlamasına İlişkin Görüşlerin Değerlendirilmesi

Grafikte, okulda afet ve acil durum planlaması ile ilgili verilen yanıtların dağılımı incelenmektedir. Katılımcılar, okulun afet ve acil durum hazırlıklarına dair çeşitli sorulara verdikleri yanıtlarla okulda bu konuda alınan önlemleri değerlendirmiştir.

İlk soruya, "Okulumuzun fiziksel özelliklerine uygun afet ve acil durum planları hazırlanır mı?" sorusuna verilen yanıtlara bakıldığında, katılımcıların büyük çoğunluğu okulun afet planlarının fiziksel özelliklere uygun hazırlandığını belirtmiştir. "Kesinlikle Katılıyorum" (%6,89) ve

"Katılıyorum" (%3,51) yanıtlarının oranı yüksek olup, "Katılmıyorum" oranı ise oldukça düşüktür (%0,50).

İkinci soruda, "Okul personeli olası bir afet ve acil durum anında yapacakları hakkında bilgi sahibi midir?" sorusuna verilen yanıtlarda da benzer bir eğilim görülmektedir. Yüksek bir oran, okul personelinin afet ve acil durum bilgisine sahip olduğunu belirtmiştir. "Kesinlikle Katılıyorum" (%6,02) ve "Katılıyorum" (%3,76) yanıtları, toplamda önemli bir oranı oluştururken, katılımcıların büyük çoğunluğu bu konuda olumlu görüş bildirmiştir.

Üçüncü soruda, "Okul personeline afet ve acil durum planlarındaki görevleri resmi olarak tebliğ edilir mi?" sorusuna verilen yanıtlarda da çoğunluk, okul personelinin bu görevler hakkında resmi bilgi aldığını belirtmiştir. Burada da "Kesinlikle Katılıyorum" (%5,39) ve "Katılıyorum" (%3,51) oranları dikkat çekicidir.

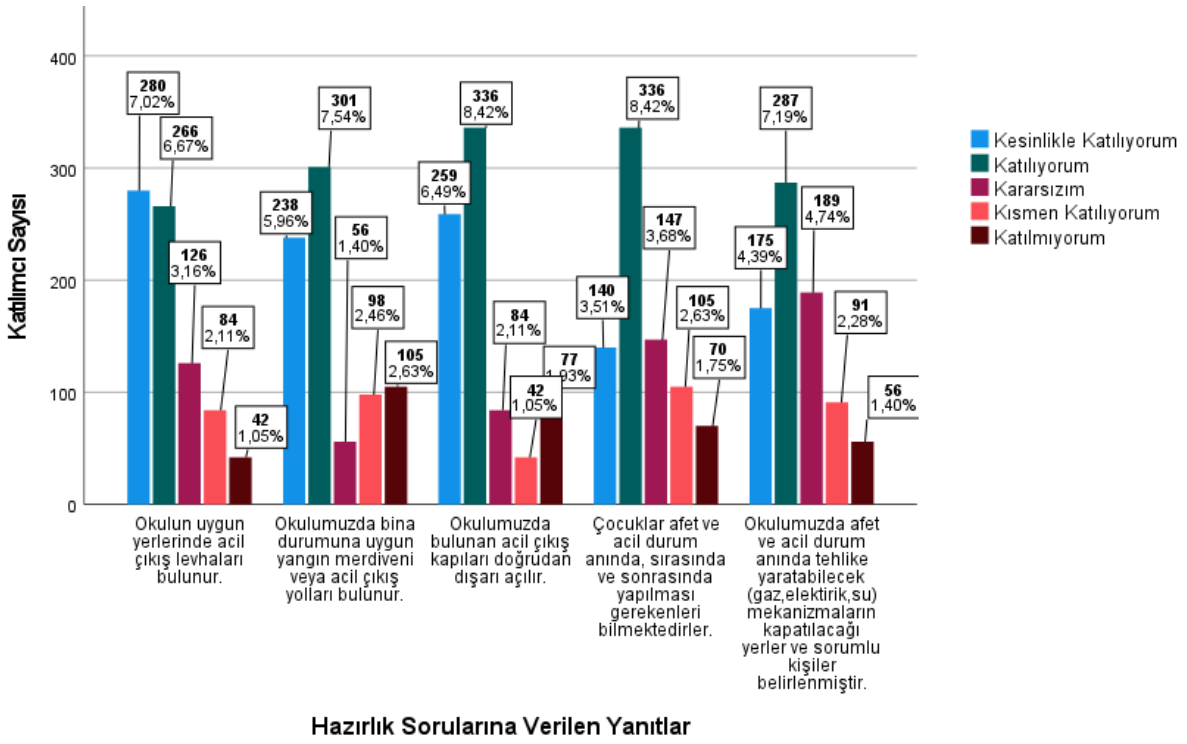
Dördüncü soruya, "Okulumuzda acil durum eylem planında tahliye yolları birden fazla mıdır?" sorusu, okulda afet planlarının geniş kapsamlı olduğunu gösteren bir sonuçla yanıtlanmıştır. Çoğunluk, tahliye yollarının birden fazla olduğunu ifade etmiştir (%5,51 "Kesinlikle Katılıyorum" ve %3,26 "Katılıyorum").

Beşinci soruda, "Okulumuzda afet ve acil durum esnasında müdahale edecek özel eğitimli bir personel bulunmakta mıdır?" sorusu, okullarda afet yönetimi için eğitilmiş personel bulunduğunu gösteren bir eğilim ortaya koymuştur. "Kesinlikle Katılıyorum" (%5,39) ve "Katılıyorum" (%3,76) yanıtlarının oranı, eğitimli personel konusunun okulda önemsendiğini göstermektedir.

Altıncı soruya, "Okulumuzun dış çevresinde toplanma alanı bulunmakta mıdır?" sorusuna verilen yanıtlarda ise, katılımcıların çoğunluğu okul çevresinde toplanma alanlarının bulunduğunu belirtmiştir. Ancak, bu alanda katılımcıların görüşleri daha dağılmıştır; "Kesinlikle Katılıyorum" yanıtı (%6,14) diğer yanıtlara göre daha fazla olmuştur.

Son olarak, "Okulumuzun acil durum eylem planında özel politika gerektiren gruplara (hasta, engelli vb.) dair dikkate alınmış mıdır?" sorusuna verilen yanıtlar, okullarda özel grupların ihtiyaçlarının planlamada yer almadığını gösteren bir durum ortaya koymuştur. "Katılmıyorum" ve "Kesinlikle Katılmıyorum" yanıtları, bu konuda eksikliklerin olduğunu gösterirken, "Katılıyorum" yanıtı oranı daha yüksektir (%3,01).

Genel olarak, katılımcılar okulda afet ve acil durum planlaması ile ilgili büyük ölçüde olumlu görüş bildirmiştir. Ancak, bazı alanlarda eksiklikler olduğu ve özellikle özel grupların ihtiyaçlarının dikkate alınmadığına dair endişeler de bulunmaktadır. Bu bulgular, okulda afet yönetimi ve planlaması konusunda daha fazla gelişim alanı olduğunu göstermektedir.



Grafik 4. Okulda Afet ve Acil Durum Hazırlıkları ve Önlemlerine İlişkin Görüşlerin Değerlendirilmesi

Grafikte, katılımcıların okullarındaki afet ve acil durum hazırlıklarına ilişkin beş ifadeye verdikleri yanıtları beşli Likert ölçeği üzerinden göstermektedir. İlk ifade olan "Okulun uygun yerlerinde acil çıkış levhaları bulunur." maddesinde, katılımcıların büyük kısmı olumlu görüş bildirmiştir. Kesinlikle katılıyorum diyenlerin sayısı 280 (%7,02), katılıyorum diyenlerin sayısı 266 (%6,67)'dir. Daha düşük oranlarda kararsızım (126; %3,16), kısmen katılıyorum (84; %2,11) ve katılmıyorum (42; %1,05) yanıtları görülmektedir. Bu veri, okulların çoğunda acil çıkış levhalarının bulunduğuna işaret etmektedir.

İkinci ifade olan "Okulumuzda bina durumuna uygun yangın merdiveni veya acil çıkış yolları bulunur." maddesinde yine olumlu görüşler baskındır. Kesinlikle katılıyorum yanıtı 301 (%7,54) ile en yüksek değere sahiptir. Katılıyorum diyenler 238 (%5,96), kararsızım diyenler 56 (%1,40), kısmen katılıyorum yanıtı verenler 98 (%2,46) ve katılmıyorum diyenler 105 (%2,63) olarak görülmektedir. Bu bulgular, bazı okullarda acil çıkış altyapısı ile ilgili eksikliklerin olduğunu göstermektedir.

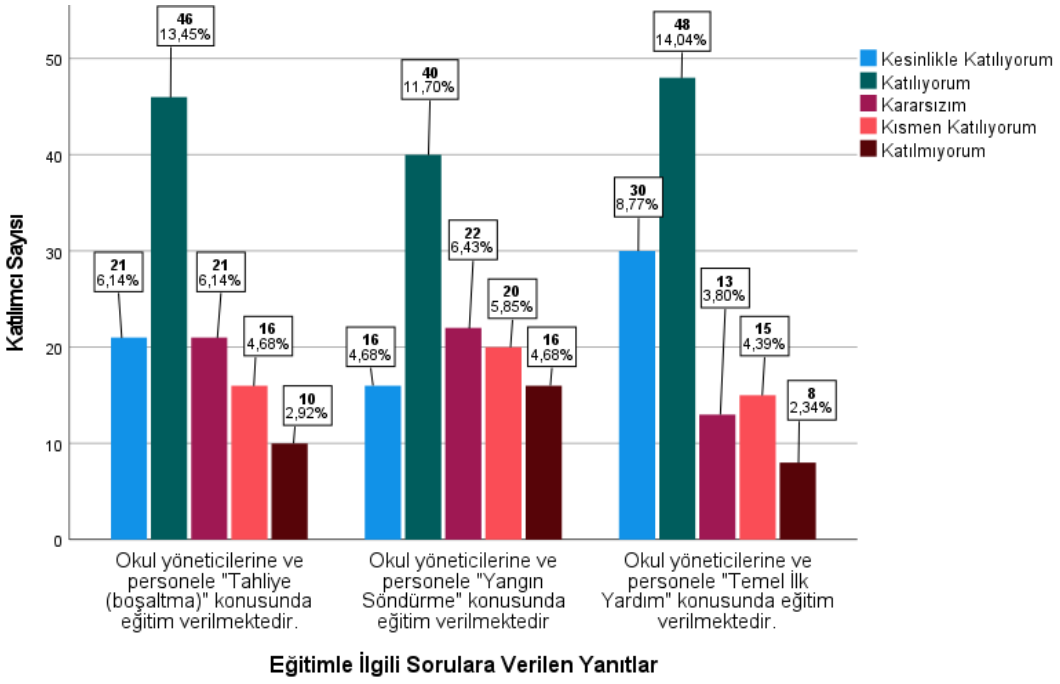
Üçüncü ifade "Okulumuzda bulunan acil çıkış kapıları doğrudan dışarı açılır." maddesinde ise kesinlikle katılıyorum yanıtı 336 (%8,42) ile en yüksek düzeydedir. Bunu katılıyorum yanıtı 259 (%6,49) takip etmektedir. Kararsızım diyenlerin sayısı 84 (%2,11), kısmen katılıyorum diyenler 42 (%1,05) ve katılmıyorum diyenler 77 (%1,93) olarak belirtilmiştir. Yanıtlar, genel olarak çıkış kapılarının çoğu okulda uygun şekilde tasarlandığını göstermektedir.

Dördüncü ifade olan "Çocuklar afet ve acil durum anında, sırasında ve sonrasında yapılması gerekenleri bilmektedir." maddesinde de olumlu yanıtlar öne çıkmıştır. Kesinlikle katılıyorum diyenlerin sayısı 336 (%8,42), katılıyorum diyenlerin sayısı 287 (%7,19)'dur. Kararsızım yanıtı 147 (%3,68), kısmen katılıyorum yanıtı 105 (%2,63) ve katılmıyorum yanıtı 70 (%1,75) olarak

kaydedilmiştir. Bu oranlar, öğrencilerin afet bilinci konusunda büyük ölçüde bilgilendirildiğini ancak bazı okullarda bunun yeterli düzeyde olmadığını göstermektedir.

Son ifade olan "Okulumuzda afet ve acil durum anında tehlike yaratabilecek (gaz, elektrik, su) mekanizmaların kapatılacağı yerler ve sorumlu kişiler belirlenmiştir." maddesinde yine yüksek oranda olumlu geri dönüş vardır. Kesinlikle katılıyorum yanıtı 287 (%7,19), katılıyorum yanıtı 189 (%4,74), kararsızım yanıtı 91 (%2,28), kısmen katılıyorum yanıtı 56 (%1,40) ve katılmıyorum yanıtı 175 (%4,39) şeklindedir. Bu dağılım, okulların büyük kısmında kritik kapanma noktalarının belirlendiğini ancak bazı okullarda bu konuda eksikliklerin bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak grafik, okullarda afet ve acil durum hazırlıklarının önemli ölçüde yerine getirildiğini, ancak bazı maddelerde kararsızlık ve kısmi katılım oranlarının dikkat çekici düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu durum, afet hazırlıklarının birçok okulda uygulanmasına rağmen standartlaşma ve bütüncül bir sistematik oluşturma konusunda geliştirmeye ihtiyaç olduğunu göstermektedir.



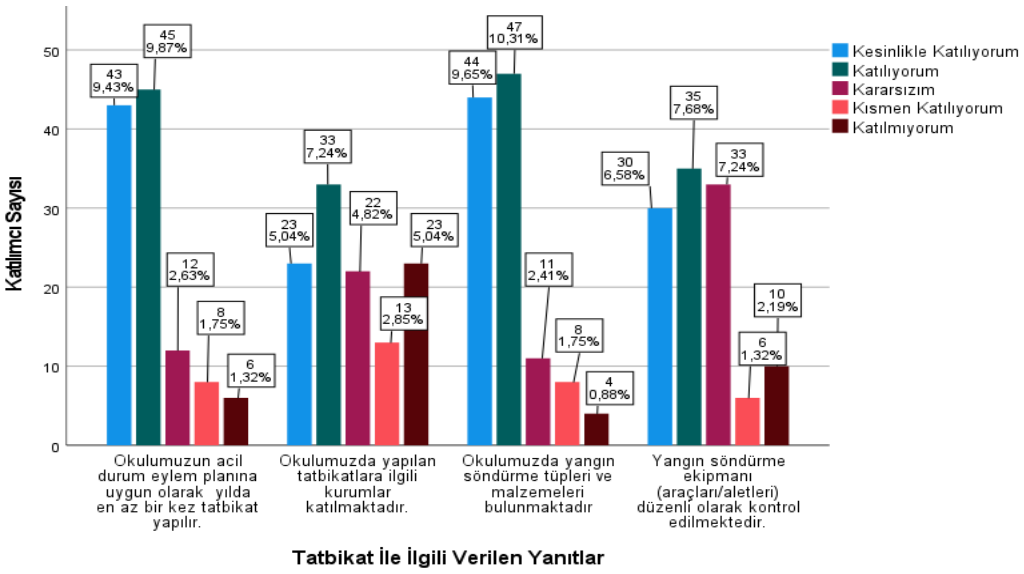
Grafik 5. Okul Çalışanlarına Verilen Afet ve Acil Durum Eğitimlerine İlişkin Görüşlerin Değerlendirilmesi

Grafikte, okul yöneticileri ve personeline verilen afet ve acil durum eğitimlerine ilişkin katılımcı görüşlerini göstermektedir. İlk ifade olan "Tahliye (boşaltma) konusunda eğitim verilmektedir." maddesinde, katılımcıların önemli bir bölümü olumlu görüş bildirmiştir. Kesinlikle katılıyorum diyenlerin sayısı 21 (%6,14), katılıyorum diyenlerin sayısı ise 46 (%13,45) ile en yüksek düzeydedir. Buna karşın kararsızım ve kısmen katılıyorum yanıtları eşit sayıda olup her biri 21 (%6,14) ve 16 (%4,68) olarak görülmektedir. Katılmıyorum diyenlerin sayısı ise 10 (%2,92) olup tahliye eğitimlerinin çoğu okulda verildiğini ancak bazı okullarda eksikliklerin bulunduğunu göstermektedir.

İkinci ifade olan "Yangın söndürme konusunda eğitim verilmektedir." maddesinde benzer bir dağılım görülmektedir. Kesinlikle katılıyorum yanıtı 22 (%6,43), katılıyorum yanıtı ise 40 (%11,70) ile yine en yoğun seçenektir. Kararsızım diyenlerin sayısı 20 (%5,85), kısmen katılıyorum diyenlerin sayısı 16 (%4,68) ve katılmıyorum diyenlerin sayısı 16 (%4,68) olarak kaydedilmiştir. Bu dağılım, yangın söndürme eğitimlerinin çoğu okulda verildiğini ancak uygulamaların bazı kurumlarda yeterince sistematik olmadığını göstermektedir.

Üçüncü ifade olan "Temel ilk yardım konusunda eğitim verilmektedir." maddesinde ise olumlu görüşler daha da belirginleşmiştir. Kesinlikle katılıyorum diyenlerin sayısı 30 (%8,77), katılıyorum yanıtı verenlerin sayısı 48 (%14,04) ile grafikteki en yüksek oranlardan biridir. Bunun yanında kararsızım yanıtı 13 (%3,80), kısmen katılıyorum yanıtı 15 (%4,39) ve katılmıyorum yanıtı 8 (%2,34) olarak görülmektedir. Bu bulgular, temel ilk yardım eğitiminin diğer eğitim türlerine göre daha yaygın bir şekilde verildiğini göstermektedir.

Genel olarak grafik, okul çalışanlarına yönelik afet ve acil durum eğitimlerinin büyük ölçüde uygulandığını ancak tüm okullarda aynı düzeyde standartlaşmadığını ortaya koymaktadır. Tahliye, yangın söndürme ve temel ilk yardım eğitimlerinin çoğunluk tarafından verildiği düşünülse de kararsız ve kısmen katılıyorum yanıtlarının dikkate değer olması, eğitimlerin düzenliliği ve kapsamı konusunda geliştirilmesi gereken yönler bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, afet yönetiminde bütüncül ve sürdürülebilir bir eğitim yaklaşımının önemine işaret etmektedir.



Grafik 6. Okulda Afet ve Acil Durum Tatbikatları ve Yangın Güvenliğine İlişkin Görüşlerin Değerlendirilmesi

Grafikte, okulda afet ve acil durum tatbikatları ile yangın güvenliği konularına ilişkin verilen yanıtların dağılımı incelenmektedir. Grafikte dört farklı soruya yönelik katılımcıların verdikleri yanıtlar, katılım oranları ile birlikte sunulmuştur.

İlk soruda, "Okulumuzun acil durum eylem planına uygun olarak yılda en az bir kez tatbikat yapılır mı?" sorusuna katılımcıların büyük bir kısmı olumlu yanıt vermektedir. Burada, "Kesinlikle Katılıyorum" ve "Katılıyorum" kategorilerindeki yanıtların oranı yüksek olup, toplamda 88 katılımcının %19,1'i bu görüşü paylaşmaktadır. Sadece küçük bir kısmı "Katılmıyorum" (2,63%) ve "Kesinlikle Katılmıyorum" (1,32%) yanıtlarını vermiştir.

İkinci soruda, "Okulumuzda yapılan tatbikatlara ilgili kurumlar katılmakta mıdır?" sorusunun yanıtlarında da benzer bir eğilim görülmektedir. Yüksek katılım oranlarıyla çoğunluk "Kesinlikle Katılıyorum" (%9,87) ve "Katılıyorum" (%7,24) şeklinde yanıt vermiştir. Ancak yine de küçük bir oran, tatbikatlara katılım göstermeyen kurumları işaret etmiştir (%5,04).

Üçüncü soruda, "Okulumuzda yangın söndürme tüpleri ve malzemeleri bulunmaktadır mı?" sorusuna verilen yanıtlar da oldukça dikkat çekicidir. Burada, yüksek bir katılım oranı, okulda yangın söndürme ekipmanlarının mevcut olduğunu belirtmiştir (%10,31 ve %9,65). Ancak, yine de birkaç katılımcı yangın güvenliği ekipmanlarının eksik olduğunu belirtmiştir (%5,04).

Son olarak, dördüncü soruda, "Yangın söndürme ekipmanları (aracılar/aletler) düzenli olarak kontrol edilmekte midir?" sorusuna katılımcıların çoğunluğu yine olumlu yanıt vermiştir. Bu alanda da, "Kesinlikle Katılıyorum" ve "Katılıyorum" yanıtlarının oranı yüksektir (%7,24 ve %7,68). Yine de, bazı katılımcılar, yangın güvenliği ekipmanlarının kontrol edilmediği görüşünü belirtmişlerdir.

Genel olarak, katılımcıların büyük bir kısmı okulda afet ve yangın güvenliği konusunda yeterli önlemlerin alındığını ve tatbikatların düzenlendiğini ifade etmiştir. Ancak, yine de bu konularda eksikliklerin olduğu görüşünü belirten bir kesim bulunmaktadır.

4. SONUÇ

Bu araştırmada, okul öncesi eğitim kurumlarında afet yönetimi ve acil durum uygulamalarına ilişkin mevcut durum çok boyutlu olarak incelenmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Öncelikle, katılımcıların görev ve okul türüne göre dağılımı değerlendirildiğinde, öğretmenlerin özellikle devlet kurumlarında yoğunlaştığı, yönetsel pozisyonlarda görev yapan personelin ise sınırlı sayıda temsil edildiği görülmüştür. Bu durum, okul öncesi eğitimde kurumsal yoğunlaşmanın devlet okullarında gerçekleştiğini, ayrıca araştırma sonuçlarının daha çok öğretmen görüşlerini yansıttığını göstermektedir.

Çalışmada, afet yönetimi ve acil durum süreçlerine ilişkin genel farkındalığın yüksek olduğu bulgulanmıştır. Katılımcıların büyük çoğunluğu okullarında afet planlarının hazırlandığını, personelin genel anlamda bilgilendirildiğini ve tatbikatların düzenli şekilde yapıldığını ifade etmiştir. Bununla birlikte, bazı maddelerde ortaya çıkan kararsız ve kısmi katılım oranları, okullar arasında uygulama farklılıklarının bulunduğunu ve afet yönetimi süreçlerinin henüz tam olarak standart bir yapıya kavuşturulamadığını göstermektedir. Özellikle özel politika gerektiren grupların (hasta, engelli vb.) planlamalarda yeterince dikkate alınmadığı yönündeki bulgular, mevcut planların kapsayıcılık açısından geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, okul çalışanlarına verilen eğitimlerin genel olarak uygulandığı görülse de düzenlilik ve kapsam açısından eksikliklerin olduğu anlaşılmıştır. Temel ilk yardım, yangın söndürme ve tahliye eğitimleri çoğunluk tarafından verilmekle birlikte tüm kurumlarda aynı düzeyde ve sistematik bir biçimde uygulanmamaktadır. Yangın güvenliği ve acil durum tatbikatlarına ilişkin bulgular da benzer şekilde, büyük oranda olumlu olmakla birlikte bazı eksikliklere işaret etmektedir.

Genel olarak, araştırma bulguları okullarda afet yönetimi süreçlerinin önemli ölçüde hayata geçirildiğini ancak bu süreçlerin sürdürülebilir, kapsayıcı ve standartlaştırılmış bir yapıya kavuşturulması gerektiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, okul öncesi eğitim kurumlarında afet yönetimi politikalarının güçlendirilmesi, personel eğitimlerinin düzenli hâle getirilmesi ve afet planlarının tüm okul paydaşlarını kapsayacak şekilde genişletilmesi önerilmektedir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME

Araştırmada elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, okul öncesi eğitim kurumlarında afet yönetimine ilişkin farkındalığın ve uygulamaların genel anlamda olumlu bir düzeyde olduğu görülmektedir. Okulların önemli bir kısmı afet ve acil durum planlarını hazırlamakta, personel bilgilendirilmekte ve düzenli tatbikatlar yapılmaktadır. Bu yönüyle kurumların afetlere hazırlıklılık düzeyi önemli bir yapı taşına sahiptir. Ancak bulgular, bu pozitif tabloya rağmen çeşitli yapısal eksikliklerin de devam ettiğini ortaya koymaktadır. Özellikle kararsız ve kısmi katılım oranlarının belirli maddelerde belirginleşmesi, uygulamaların kurumlar arasında homojen olmadığını ve bazı okulların afet yönetimi süreçlerine yeterince entegre olamadığını göstermektedir. Eğitimlerin düzenlilik ve kapsam açısından farklılık göstermesi, afet hazırlıklarının sürdürülebilir ve bütüncül bir sistematiğe ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca özel politika gerektiren grupların afet planlamasında yeterince dikkate alınmaması, afet yönetimi süreçlerinde kapsayıcılık açısından önemli bir gelişim alanı bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, okulların mevcut planlarını daha duyarlı, daha kapsayıcı ve tüm öğrenci profillerine uygun şekilde geliştirmeleri gerektiğine işaret etmektedir.

Genel değerlendirme olarak, afet yönetimi konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da bu süreçlerin daha sistematik, düzenli, kapsayıcı ve sürdürülebilir hale getirilmesi gerektiği söylenebilir. Kurumlar arası uygulama farklılıklarının azaltılması, personel eğitimlerinin standardize edilmesi ve afet planlarının tüm risk gruplarını kapsayacak şekilde güncellenmesi, okul öncesi eğitim kurumlarında afet yönetiminin etkinliğini artıracaktır.

KAYNAKÇA

AFAD (2020). Afet Farkındalık Eğitimi. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.

Atalay, B., Türkiye'de Afet Farkındalığı ve Afetlere Hazırlık Araştırması, Ankara, 2014.

Değerliyurt, Z., "Afetlerin Eğitime Etkileri ve Okullarda Afet Planlanması", Turkish Studies – Educational Sciences, 18(2), 2023.

Doğan, F. ve Kırkıncıoğlu, M., "Okul Öncesi Çocuklarda (4-6 Yaş) Deprem, Yangın ve Tahliye Konusunda Durum Tespitinin Yapılması", İSG Akademik, 2(2), 145–159, 2020.

Doğan, F., Okul Öncesi Çocuklarda (4-6) Deprem, Yangın ve Tahliye Konusunda Durum Tespitinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2020.

Elgin, K. G., "Istanbul Seismic Risk Mitigation and Emergency Preparedness Project (ISMEP)", Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures, 1129–1140, 2009.

Ergünay, O., Derneği, D. M. ve Sekreteri, G., "Doğal Afetler ve Sürdürülebilir Kalkınma", Deprem Sempozyumu Bildirileri, 11–12, 2009.

Erkal, T. ve Değerliyurt, M., "Türkiye'de Afet Yönetimi", Doğu Coğrafya Dergisi, 14(22), 147–164, 2009.

Ertürkmen, C., Afet Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi ve Siyaset Anabilim Dalı, Ankara, 2006.

International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. Geneva, Switzerland: Author.

İnandı, Y., "Resmî İlk ve Ortaöğretim Okulları Müdürlerinin Okullarındaki Kriz Durumlarına İlişkin Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi", Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 10, 2008.

İçişleri Bakanlığı ve İstanbul Teknik Üniversitesi Strateji Merkezi Afet Yönetim Merkezi (İB-İTÜ), Ulusal Acil Durum Yönetimi Modeli Geliştirilmesi Projesi, Nihai Rapor EK-A, 2002.

ISMEP, İstanbul Sismik Riskin Azaltılması ve Acil Durum Hazırlık Projesi: Eğitim Kurumları İçin Afet Acil Yardım Planlama Rehberi, İstanbul, 2009.

Kuru, A. ve Kazancı, N., "Okullarda Afet Tahliye Planı Hazırlama: Kaynaşlı Örneği", Muhakeme Dergisi, 6(2), 94–104, 2023.

Mızrak, S., "Eğitim, Afet Eğitimi ve Afete Dirençli Toplum", MSKU Eğitim Fakültesi Dergisi, 5(1), 2018.

Millî Eğitim Bakanlığı (2021). Afet ve Acil Durum Uygulamaları Yönergesi. Ankara: MEB Yayınları.

Odabaş, L. ve Cengiz, S., "Eğitim Kurumları İdarecilerinin Kriz Anında Afet ve Acil Durumlara Yönelik Yeterliliklerinin Değerlendirilmesi: Gümüşhane İli Örneği", Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 10(3), 521–531, 2021.

Özmen, B., "Acil Durum ve Afet Yönetimi Planlarının Tarihsel Gelişimi", Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 47(2), 165–181, 2023.

Özmen, B., İstanbul Sismik Riskin Azaltılması ve Acil Durum Hazırlık Projesi (İSMEP): Eğitim Kurumları İçin Afet ve Acil Durum Yönetimi Planlama Rehberi, 2006.

Özmen, B., "Türkiye'de Afet ve Acil Durum Yönetim Planlarının Mevcut Durumu ve Mevzuat Karmaşası", Afet ve Acil Durum Yönetiminde Kurumlararası İşbirliği ve Yönetişimi Çalıştayı Bildiriler Kitabı, 205–214, 2017.

Tercan, B., "Afet Bölgelerinde Yeniden Yerleştirme ve İskân Politikaları: Doğubayazıt Depremi Örneği", Türk Deprem Araştırma Dergisi, 2(1), 76–91, 2020.

Tzeng, W. C., Feng, H. P., Cheng, W. T., Lin, C. H., Chiang, L. C., Pai, L. ve Lee, C. L., "Readiness of Hospital Nurses for Disaster Responses in Taiwan: A Cross-Sectional Study", Nurse Education Today, 47, 37–42, 2016.

UNICEF, Progress for Children: Achieving the MDGs with Equity (No. 9), 2010.

Yavuzer, H., Çocuk Eğitimi El Kitabı, Remzi Kitabevi, 14. Basım, İstanbul, 2002.

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA MEYDANA GELEBİLECEK KAZALAR VE İLK YARDIM

Ümmügülsüm BÜBER
Amasya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü,
glsmerdem@hotmail.com- 0009-0004-5722-0925

Korhan ÖKTEN
Amasya Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi,
korhan.okten@amasya.edu.tr- 0000-0002-8728-8785

ÖZET

Okul öncesi dönem, çocukların bilişsel ve fiziksel gelişimlerinin hızlı olduğu, ancak çevresel tehlikelere karşı savunmasız oldukları bir süreçtir. Bu nedenle, okul öncesi eğitim kurumlarında kaza riski yüksektir ve kazaların tamamen önlenememesi durumunda hızlı müdahale kapasitesi kritik bir önem taşır. Eğitim ortamlarında alınan güvenlik önlemleri kazaları azaltmakla birlikte, acil durumlarda öğretmenlerin ve okul idarecilerinin ilk yardım bilgi ve becerileri hayati bir rol üstlenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, okul öncesi eğitim kurumlarında meydana gelebilecek kazalara karşı öğretmen ve idarecilerin ilk yardım bilgi düzeylerini belirlemektir. Araştırma verileri, araştırmacı tarafından geliştirilen ve uzman görüşü ile geçerliliği sağlanan "Okul Öncesi Eğitim Kurumlarında Meydana Gelebilecek Kazalar ve İlk Yardım Bilgi Düzeyini Belirleme Anketi" aracılığıyla toplanmıştır. Anket, demografik bilgiler ile kazalara müdahale yeterliliği, ilkyardım bilgisi ve uygulama becerilerini ölçen alt boyutlardan oluşmaktadır. Elde edilen veriler betimsel analiz teknikleriyle değerlendirilmiştir.

Araştırma sonuçları, öğretmenlerin ve idarecilerin temel düzeyde ilkyardım bilgisine sahip olduğunu, ancak bu bilginin gerçek bir acil durumda etkili müdahale için yetersiz kaldığını göstermektedir. Ülkemizde birçok okulda sağlık personeli bulunmaması, acil durumlarda sorumluluğu öğretmenlere yüklemektedir. Bu durum, eğitimcilerin teorik bilgi kadar uygulama becerileri açısından da donanımlı olmasını zorunlu kılmaktadır. Çalışma, ilk yardım eğitimlerinin artırılması, düzenli aralıklarla güncellenmesi ve uygulamalı olarak verilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kazalar 1, Yaralanma 2, İlkyardım 3, Okul Öncesi Eğitim 4, Öğretmen 5

1. GİRİŞ

Kaza, beklenmedik anlarda meydana gelen ve bireyin fiziksel bütünlüğünü tehdit eden olaylar olarak tanımlanır. Her ne kadar kazalar rastlantısal görünse de çoğu önlenebilir niteliktedir ve gerekli önlemler alındığında riskler en aza indirilebilir. Yaşam alanları, eğitim kurumları ve kamusal mekânlar kazaların sıklıkla yaşandığı yerler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, çocukların ailelerinden bağımsız olarak ilk kez sosyal bir çevreye adım attıkları okul öncesi eğitim kurumları, kaza riski açısından özel bir öneme sahiptir (Özkubat, 2013).

Okul öncesi dönemde çocukların hareket düzeylerinin yüksek olması, çevreyi keşfetme isteği ve dikkat sürelerinin kısa olması kazalara yatkınlığı artırmaktadır (Özcebe, 2005). Gelişimsel olarak çevresel tehlikeleri öngörememeleri, meraklı ve aceleci davranış örüntüleri bu riski pekiştirmektedir (Bertan ve Çakır, 1995). Türkiye'de 0–14 yaş grubundaki çocuklarda kaza sıklığı incelendiğinde, 4–14 yaş grubunun birinci sırada, 0–4 yaş grubunun ise beşinci sırada yer aldığı görülmektedir (Kıran ve ark., 2001). Kazaların türü ve şiddeti, yaşa ve gelişim özelliklerine bağlı olarak farklılaşmakta; erken çocukluk döneminde en sık düşme, yanık, zehirlenme ve trafik kazalarıyla karşılaşılmaktadır (Erkal ve Canan, 2010).

Okul öncesi kurumlar, çocukların sosyal, bilişsel ve motor gelişimlerinin desteklendiği ancak aynı zamanda fiziksel risklerin de yüksek olduğu ortamlardır (Kılıç, 1995). Bu nedenle öğrenme ortamlarının çocukların yaş ve gelişim düzeylerine uygun şekilde düzenlenmesi, güvenlik önlemlerinin alınması ve personelin olası acil durumlara hazırlıklı olması büyük önem taşımaktadır. Güvenli bir eğitim ortamı, çocuğun kişilik gelişimini desteklemenin yanı sıra öğrenme süreçlerinin sürdürülebilirliğini de sağlar (Stokes ve Cuervo, 2009; Oktay, 2000).

Literatürde okul öncesi kurumlarda meydana gelen kazaların nedenleri, türleri ve önleyici uygulamalara ilişkin çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte, öğretmen ve idarecilerin kazalar karşısında sergiledikleri ilk yardım davranışlarına yönelik bilgi düzeylerinin incelendiği araştırmalar sınırlıdır. Bu çalışmada, mevcut araştırmalardan farklı olarak, anaokullarında görev yapan öğretmen ve yöneticilerin ilk yardım bilgi düzeyleri değerlendirilmiş**,** elde edilen bulgular doğrultusunda okul öncesi kurumlarda güvenli öğrenme ortamlarının oluşturulmasına katkı sunulması amaçlanmıştır.

1.1. Anaokullarında Kaza Riskini Artıran Etkenler

Okul öncesi dönem, 3-6 yaş grubundaki çocukları kapsamaktadır. Bu yaş grubundaki çocuklar, çevrelerini seçme imkânına sahip olmadıkları için tamamen bakım veren yetişkinlerin sunduğu çevrede yaşamaktadır. Eğitim kurumlarına başladıklarında da bu bağımlılık hali, farklı şekillerde devam etmektedir. Oyun temelli etkinliklerin yoğun olarak yer aldığı bu kurumlarda, çocukların gelişim özelliklerine uygun fiziksel ortamların oluşturulması büyük önem taşır (Ustaoğlu,2020).

Çocukların okul öncesi kurumlarda gösterdiği davranışlar, içinde bulundukları sınıf ortamının fiziksel özelliklerinden doğrudan etkilenmektedir. Fiziksel çevrenin, çocukların yaş ve gelişim özelliklerine uygun olması, onların bu çevreden en üst düzeyde yararlanmasını sağlar. Bu da bilgi ve beceri düzeylerinde artışa ve dolayısıyla olumlu davranış değişikliklerine katkı sağlar. Kazaları önleyici yapılandırılmış eğitim ortamlarında yeterli donanımın sağlanması hem iç hem de dış mekânların kazanım ve göstergelere uygun şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu tür

eğitim ortamları, çocukların gelecekteki yaşantılarının şekillenmesinde de önemli rol oynar (Özkubat,2013).

Çocuklar, zamanlarının büyük bir bölümünü okul ortamında geçirdikleri için kayıt esnasında sınıfın fiziksel kapasitesiyle uyumlu bir öğrenci sayısı belirlenmelidir. Kayıt yapılırken sınıfın yüzölçümü, donanım malzemelerinin kapladığı alan ve çocuk başına düşen metrekare gibi kriterler dikkate alınmalıdır. Örneğin, 3 yaş grubu için kişi başına 1,5 m² alan yeterli görülürken, 5 yaş grubu için bu rakam 3 m²'ye kadar çıkmaktadır (Karaküçük,2008). Sınıf alanının çocuk sayısına göre yetersiz olması durumunda, hareket alanının daralmasıyla birlikte kaza olasılığı artmakta; fazla geniş olması durumunda ise, kontrolsüz hareketler artmakta ve sosyal etkileşim azalabilmektedir (Decker,2005).

1.2. Okul Ortamında Görülebilecek Kaza Türleri ve Nedenleri

Okul öncesi kurumlar, çocukların kaza riskiyle karşılaşabileceği birçok fiziksel ve materyal kaynaklı unsur barındırmaktadır. Bu risk faktörleri göz ardı edildiğinde; düşme, çarpma, kesik, burkulma, elektrik çarpması gibi çeşitli kaza türleri kaçınılmaz hale gelebilir (Çevik,2007).

En sık karşılaşılan kaza türü, düşmelerdir. Bu kazalar genellikle spor salonları, açık oyun alanları, merdivenler ya da yüksekten atlama gibi aktiviteler sırasında meydana gelir. Çocukların vücut koordinasyonlarının henüz tam gelişmemiş olması, bu tür kazaların temel nedenlerinden biridir (Eraslan ve Aycan,2008).

Bir diğer kaza türü, yabancı cisim batmalarıdır. Çocukların nesnelere karşı duyduğu merak, onları kalem, makas, maket bıçağı gibi materyallerle temas etmeye iter. Bu kazalar nispeten daha az görülse de dikkat edilmediğinde ciddi yaralanmalara yol açabilir (Eraslan ve Aycan, 2008).

Çarpışmalar ise çocukların dikkat dağınıklığı veya oyun oynarken çevresel farkındalıklarının düşük olması nedeniyle meydana gelir. Özellikle koşu ve hareketli oyunlar sırasında yaşanan çarpışmalar, fiziksel yaralanmaların yanı sıra çocukta psikolojik etkilere de neden olabilir (Eraslan ve Aycan,2008).

Kesik vakaları, sınırlı sıklıkta karşılaşılan ancak kanamaya neden olabileceği için çocuklarda korkuya yol açan kazalardır. Bu tür kazalar daha çok kesici aletlerin bulunduğu ortamlarda görülmektedir (Gevrek Akar,2017)

Burkulmalar, motor gelişimi destekleyen etkinliklerde —örneğin jimnastik, parkur yarışları ya da zıplama gibi faaliyetlerde— daha sık yaşanır. Bu kazalar genellikle ayak bileği veya el bileğinde meydana gelir (Eraslan ve Aycan,2008).

Elektrik çarpması ise en nadir görülen fakat en tehlikeli kaza türlerinden biridir. Prizlerin çocuk korumalı olmaması, eskiyen kabloların zamanında yenilenmemesi gibi ihmaller bu tür kazaların başlıca nedenleri arasında yer alır ve ciddi sağlık sorunlarına, hatta ölüme yol açabilir (Gevrek Akar,2017).

Besin zehirlenmeleri ise genellikle çocukların merakla tanımadıkları nesneleri ağızlarına almaları ya da uygun koşullarda saklanmamış gıdaları tüketmeleri sonucu meydana gelir. Bu durumun oluşmasında hem çocukların merak duygusu hem de yetişkinlerin dikkatsizliği etkili olabilir (Gevrek Akar,2017).

2. İLK YARDIM

İlk yardım, ani bir hastalık veya yaralanma durumunda, profesyonel sağlık ekipleri olay yerine ulaşmadan önce, yaşamın sürdürülmesini, mevcut durumun kötüleşmesinin önlenmesini ve iyileşmenin desteklenmesini amaçlayan acil ve geçici müdahalelerdir (Güler ve Bilir, 2001). Bu müdahaleler tıbbi donanım kullanılmadan, olay yerinde bulunan kişiler tarafından yapılır ve tedaviye değil, bireyin hayati fonksiyonlarının korunmasına yöneliktir (Bumin ve Ayoğlu, 1998).

İlk yardımın temel amacı; bireyin yaşamsal fonksiyonlarını sürdürmek, durumunun kötüleşmesini önlemek ve iyileşme sürecine katkı sağlamaktır (Rasmus, 2000). Sağlık Bakanlığı (2006), ilk yardımın üç temel ilkesini Koruma, Bildirme ve Kurtarma (KBK) olarak tanımlamaktadır.

- **Koruma:** Olay yerinde yeni tehlikelerin oluşmasını önleyerek kazazedelerin ve çevredeki kişilerin güvenliğini sağlamak,
- **Bildirme:** Olayı fark eden kişinin en kısa sürede 112 Acil Çağrı Hattı'nı arayarak doğru ve eksiksiz bilgi aktarması,
- **Kurtarma (Müdahale):** Olay yerine güvenli şekilde yaklaşarak kazazedeye uygun ilk yardım müdahalesinde bulunulmasıdır (Badır, 2005; Albayrak, 2007).

Doğru ve zamanında yapılan ilk yardım uygulamaları, bireyin yaşam şansını artırmakta, sonraki tedavi sürecini kolaylaştırmakta ve kalıcı sağlık sorunlarının önlenmesine katkı sağlamaktadır (Ulukol ve ark., 2012). Ayrıca, ilk yardım bilgisine sahip bireylerin acil durumlarda doğru karar verme, soğukkanlı davranma ve olay yerinde etkili bir şekilde iletişim kurma becerilerinin geliştiği vurgulanmaktadır (İkizler, 2016).

2.1. İlk Yardım Uygulamaları

2.1.1. Hayat Kurtarma Zinciri

Hayat kurtarma zinciri, ani sağlık sorunlarında bireyin hayatta kalma şansını artırmak amacıyla birbirini izleyen müdahale basamaklarını kapsar. Bu zincir; **acil yardım çağrısının yapılması, temel yaşam desteği uygulanması, erken defibrilasyon ve ileri yaşam desteği** aşamalarından oluşur. Her bir aşama zincirin etkinliği açısından kritik öneme sahiptir (Toraman, 2024).

2.1.2. İlk Yardım ABC'si

İlk yardımın temel değerlendirme sıralaması "ABC" olarak tanımlanır:

- **A (Airway - Havayolu):** Havayolunun açıklığının kontrol edilmesi,
- **B (Breathing - Solunum):** Solunumun değerlendirilmesi,
- **C (Circulation - Dolaşım):** Kalp atımı ve dolaşımın kontrol edilmesi.
  Bu basamaklar, hayati tehlike arz eden durumlarda hızlı ve sistematik müdahale için temel bir rehber niteliğindedir. (Güler, Ç. ve Bilir, N.1994).

2.1.3. Temel Yaşam Desteği

Temel yaşam desteği (TYD), kalp veya solunum durması gibi acil durumlarda profesyonel yardım gelene kadar ilaçsız ve ekipmansız şekilde yapılan müdahaleleri kapsar. Bu süreçte bilinç kontrolü, solunum ve dolaşım değerlendirmesi, kalp masajı ve suni solunum gibi uygulamalar yer alır. TYD'nin amacı, bireyin yaşamsal fonksiyonlarını sağlık ekipleri gelene kadar sürdürmektir (Albayrak, 2015).

2.2. İlk Yardım Gerektiren Durumlar

İlk yardımın uygulanması gereken başlıca durumlar şunlardır:

- Isı dengesi bozuklukları,
- Göz, kulak veya buruna yabancı cisim kaçması,
- Burkulmalar,
- Elektrik çarpmaları,
- Yaralanmalar,
- Zehirlenmeler,
- Böcek sokmaları ve hayvan ısırmaları (Aktaş, 2022).

2.3. İlk Yardım Gerektiren Özel Durumlar

Bazı kronik sağlık sorunları acil müdahale gerektirebilmektedir. Bu durumlar arasında:

- **Epilepsi (Sara hastalığı),**
- **Diyabetes Mellitus (Şeker hastalığı),**
- **Astım hastalığı** yer almaktadır.

Bu hastalıklarda yapılacak doğru ve bilinçli ilk yardım uygulamaları, bireyin yaşam kalitesini korumada ve olası komplikasyonların önlenmesinde büyük önem taşımaktadır (T.C. Tanı ve Tedavi Rehberi,2003).

2.4. Okul Kazalarında Öğretmenlerin Rolü ve İlk Yardım Bilgi Düzeyleri

İlk yardım, hastalık, yaralanma veya acil durumlarda, olay yerinde veya sağlık hizmetlerine ulaşana kadar yapılan temel ve acil müdahaleleri kapsar. Temel amacı, hayat kurtarmak ve durumun kötüleşmesini önlemektir (Sakıncı, 1982).

Araştırmalar, okul kazalarının büyük bir kısmında ilk müdahaleyi öğretmenlerin gerçekleştirdiğini göstermektedir. Ancak öğretmenlerin ilk yardım bilgisi çoğu çalışmada yetersiz bulunmuştur. Örneğin, bazı çalışmalarda öğretmenlerin %60'ından fazlası ilk yardım sorularına yanlış yanıt vermekte, bilgi düzeyleri yaş ilerledikçe düşmektedir. Diğer araştırmalar, öğretmenlerin %70–78'inin yeterli bilgiye sahip olmadığını ve çoğunun eğitim almak istediğini göstermektedir (Akçay D, Yıldırımlar A. 2018).

Ayrıca öğretmenlerin lisans eğitimi sırasında genellikle ilk yardım eğitimi almadıkları saptanmıştır. Bu bulgular, okul kazalarında öğretmenlerin kritik bir rol oynadığını ve ilk yardım bilgi düzeylerinin artırılmasının önemini vurgulamaktadır. İlk yardım eğitimi, öğretmenlerin kazalara doğru ve güvenli müdahale edebilmesini sağlayarak olumsuz sonuçları azaltabilir. (Dönmez,2024)

3. MATERYAL VE METOD

Bu araştırma, okul öncesi eğitim kurumlarında meydana gelebilecek kazaları ve bu kazalar sonrasında uygulanması gereken ilk yardım konusundaki öğretmen ve okul personelinin bilgi ve yeterlilik düzeylerini incelemeyi amaçlayan tanımlayıcı bir çalışma olarak tasarlanmıştır. Araştırmanın evrenini Türkiye genelindeki anaokulu ve anasınıflarında görev yapan öğretmenler ve idareciler oluşturmaktadır. Ancak geniş bir örnekleme ulaşmanın güç olması nedeniyle, çalışmanın temsil niteliğini sağlamak amacıyla örneklem Amasya il merkezi ile sınırlanmıştır.

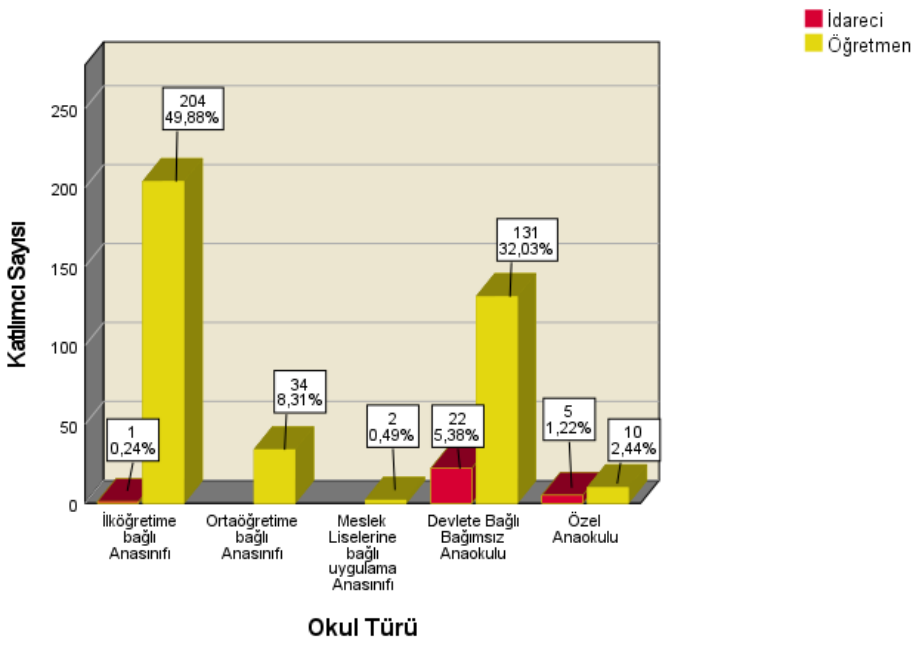
Araştırma sürecinde, öncelikle tüm okul kategorileri belirlenmiş ve gerekli resmi izinler alındıktan sonra okullara ulaşılmış ve anketler uygulanmıştır. Veri toplama aracının hazırlanmasında, taranmış ve alan ilgili literatür yazındaki bilimsel çalışmalar temel alınmıştır (Gevrek Akar, 2017). İçerik geçerliliğini sağlamak amacıyla uzman görüşüne başvurulmuş ve daha önce kullanılmış bir anketin çalışmada kullanılabilmesi için gerekli yasal izinler temin edilmiştir. Araştırmanın verileri, “Okul Öncesi Eğitim Kurumlarında Meydana Gelebilecek Kazalar ve İlk Yardım Bilgi Düzeyini Belirleme Anketi” aracılığıyla toplanmıştır.

Anket; tanıtıcı bilgiler (11 soru), okullarda karşılaşılabilecek kaza durumları ve kazalara karşı alınabilecek önlemleri belirlemek amacıyla (21) soru, İlk yardım bilgi düzeyini ölçmek amacıyla (17) soru toplamda 49 soru bulunmaktadır. Anket sorularının çoğunluğu 3’lü Likert tipi ölçek kullanılarak yapılandırılmıştır. Katılımcılardan her bir maddeye “Evet”, “Hayır” veya “Bilmiyorum” şeklinde yanıt vermeleri istenmiş; bu yanıtlar sırasıyla “Evet” (1), “Hayır” (2) ve “Bilmiyorum” (3) şeklinde puanlanmıştır.

Çalışmadaki veriler SPSS27 programı ile analiz edilmiştir. Değerlendirme yapılacak olan çalışmanın analizlerinin belirlenmesine yönelik ölçeğin normal dağılım durumu incelenmiştir

4. BULGULAR

Araştırmaya katılanların büyük çoğunluğunu kadın öğretmen ve idareciler (%96,8) oluşturmakta olup, erkek katılımcıların oranı %3,2’dir.Bunun sebebi olarak ülkemizde okul öncesi dönemde genellikle kadın öğretmenlerin görev yapması söylenebilir. Katılımcıların yaş dağılımı ağırlıklı olarak 36-49 yaş aralığında (%71,1) olup, 22-35 yaş aralığı (%19,1) ve 50 yaş üstü (%9,8)’dir. Eğitim düzeyi açısından, lisans mezunları %79,0 ile çoğunluğu oluştururken, yüksek lisans %15,2, ön lisans %5,6 ve doktora %0,2 oranındadır. Görev yaptıkları okul türleri incelendiğinde, katılımcıların %50,1’i ilköğretime bağlı anasınıflarında, %37,4’ü devlete bağlı bağımsız anaokullarında, %8,3’ü ortaöğretime bağlı ana sınıflarda, %3,7’si özel anaokullarında ve %0,5’i meslek liselerine bağlı uygulama anasınıflarında görev yapmaktadır. Kurumdaki görev dağılımına göre, %93,2’si öğretmen, %6,8’i ise idarecidir.



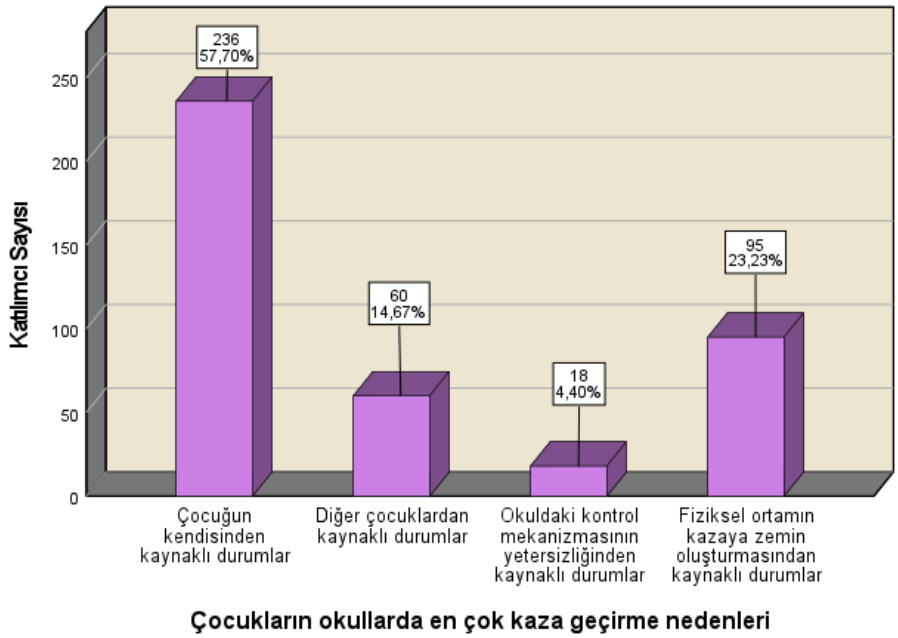
Görsel 1. Katılımcıların kurum türlerine göre dağılımı

Görsel 1. incelendiğinde, okul öncesi eğitim kurumlarında görev yapan idareci ve öğretmenlerin kurum türlerine göre dağılımında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. En yüksek oran, ilköğretime bağlı anasınıflarında görev yapan öğretmenlere aittir (%49,88). Bu durum, okul öncesi eğitimin önemli bir bölümünün hâlen ilköğretim kurumları bünyesinde yürütüldüğünü ve bu kurumların sistemde baskın bir yer tuttuğunu göstermektedir.

Devlete bağlı bağımsız anaokullarında görev yapan öğretmen oranı %32,03'tür. Bu oran, bağımsız anaokullarının okul öncesi eğitim sisteminde giderek önem kazandığını, ancak ilköğretime bağlı anasınıflarının hâlâ daha yaygın olduğunu ortaya koymaktadır. Ortaöğretime bağlı anasınıflarında görev yapan öğretmen oranı %8,31, meslek liselerine bağlı uygulama anasınıflarında görev yapan öğretmen oranı ise %0,49'dur. Bu bulgular, okul öncesi eğitimin ortaöğretim kurumlarıyla sınırlı düzeyde ilişkilendirildiğini göstermektedir.

Özel anaokullarında görev yapan öğretmen oranı %2,44 olarak saptanmıştır. Bu durum, özel sektörün okul öncesi eğitim alanındaki payının kamu kurumlarına kıyasla oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca tüm kurum türlerinde idareci oranlarının oldukça düşük düzeyde kaldığı, buna karşın öğretmenlerin büyük çoğunluğu oluşturduğu dikkat çekmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, okul öncesi eğitimde görev yapan personelin büyük bir kısmının kamuya bağlı kurumlarda istihdam edildiği ve özellikle ilköğretime bağlı anasınıflarının sistem içinde baskın bir konumda bulunduğu söylenebilir. Bu bulgu, okul öncesi eğitimin kurumsal çeşitliliğinin sınırlı olduğunu ve bağımsız anaokullarının yaygınlaştırılmasının kurumsal denge açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır.



Görsel 2. Anaokullarında çocukların kaza geçirmelerine neden olan durumlar

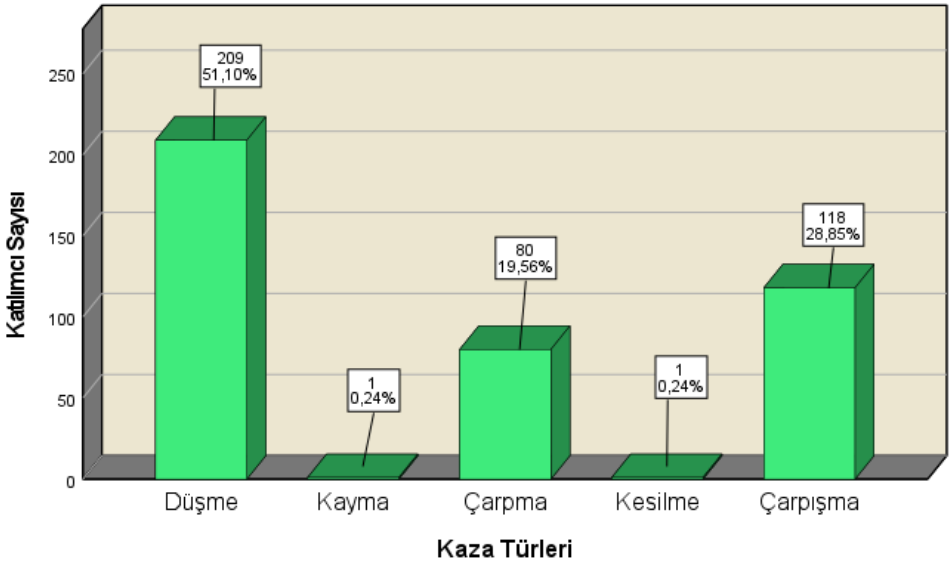
Görselde, anaokullarında meydana gelen kazaların nedenlerine ilişkin dağılım incelendiğinde, kazaların en büyük kısmının çocuğun kendisinden kaynaklı durumlar (%57,70) olduğu görülmektedir. Bu oran, okul öncesi dönemde çocukların gelişimsel özellikleri, merak duyguları ve hareket ihtiyaçlarının yüksek olmasının, kazaların temel belirleyicisi olduğunu göstermektedir.

Buna karşın, fiziksel ortamın kazaya zemin oluşturmasından kaynaklı durumlar %23,23 oranında gerçekleşmiştir. Bu bulgu, eğitim ortamlarının güvenliğinin ve donanım düzenlemelerinin çocuk sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir etken olduğunu ortaya koymaktadır.

Diğer çocuklardan kaynaklı durumlar %14,67 oranında görülmüş olup, bu durum akran etkileşimlerinde yaşanan davranışsal kontrol eksikliklerinin ve sosyal beceri gelişiminin kazalar üzerindeki etkisini yansıtmaktadır.

Son olarak, okuldaki kontrol mekanizmasının yetersizliğinden kaynaklı durumlar %4,4 gibi düşük bir oranda yer almıştır. Bu oran, öğretmenlerin ve okul personelinin gözetim ve denetim görevlerini genel olarak etkili biçimde yerine getirdiğini, ancak yine de bazı durumlarda kontrol eksikliğinin kazalara neden olabildiğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, okul öncesi eğitim kurumlarında meydana gelen kazaların büyük ölçüde çocuğun bireysel özellikleri ve davranışlarından kaynaklandığı; bunun yanında fiziksel çevre düzenlemelerinin ve yetişkin gözetiminin de önemli bir rol oynadığı sonucuna ulaşılabilir. Bu nedenle, kazaların önlenmesine yönelik stratejiler geliştirilirken hem çocuğun gelişimsel özelliklerini dikkate alan eğitimsel önlemler hem de fiziksel güvenlik önlemleri bütüncül biçimde ele alınmalıdır.

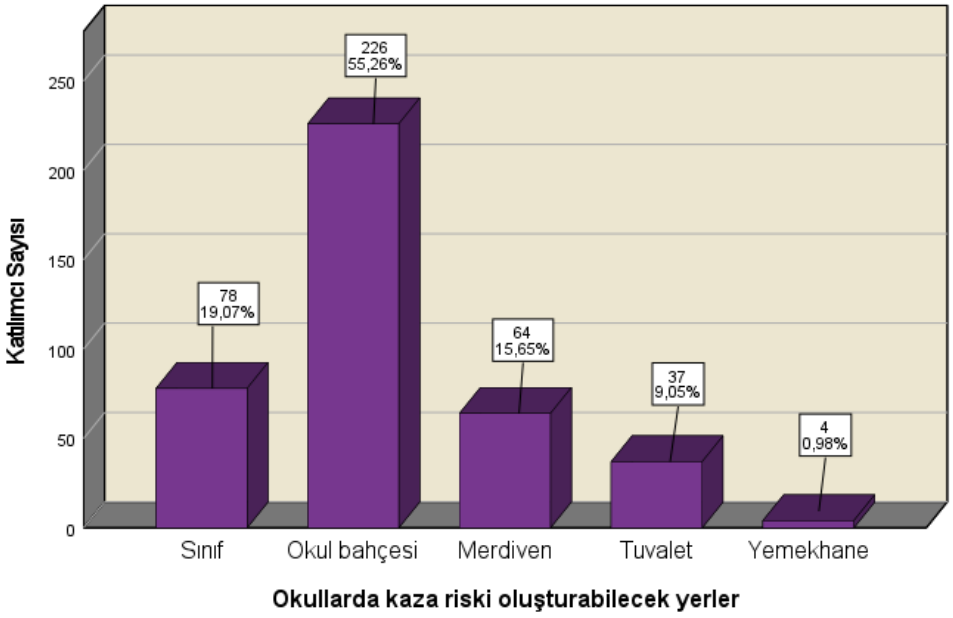


Görsel 3. Okullarda karşılaşılabilecek kaza türleri

Görsele göre anaokullarında meydana gelebilecek kazalar arasında en yüksek oran düşme kazaları (%51,30) ve çarpışma (%28,85) kazalarına aittir. Bu durum, okul öncesi dönemdeki çocukların motor becerilerinin tam olarak gelişmemiş olmasından, denge ve koordinasyon eksikliklerinden, ayrıca oyun alanlarının yapısal özelliklerinden kaynaklanabilmektedir. Çarpma (%19,56) ve çarpışma (%4,35) kazaları daha düşük oranlarda görülmekle birlikte, çocukların akranlarıyla etkileşimde bulunduğu grup oyunları sırasında sıkça karşılaşılabilecek kaza türleri olarak değerlendirilebilir. Buna karşılık, kayma (%0,24) ve kesilme (%0,24) kazaları oldukça düşük oranlarda meydana gelmiştir.

Bu veriler, okul öncesi eğitim kurumlarında güvenli fiziksel ortamların oluşturulmasının ve çocukların yaş gelişim özelliklerine uygun oyun materyallerinin seçilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Özellikle düşme ve çarpma gibi kazaların önlenmesi amacıyla, zemin malzemelerinin yumuşak ve darbe emici nitelikte olması, mobilya ve oyuncak tasarımlarında keskin kenarların bulunmaması, ayrıca öğretmen gözetiminin sürekli sağlanması gerekmektedir.

Bu bağlamda görsel, okul öncesi eğitim kurumlarında kaza risklerinin azaltılmasına yönelik önleyici tedbirlerin planlanmasında önemli bir gösterge olarak değerlendirilebilir.

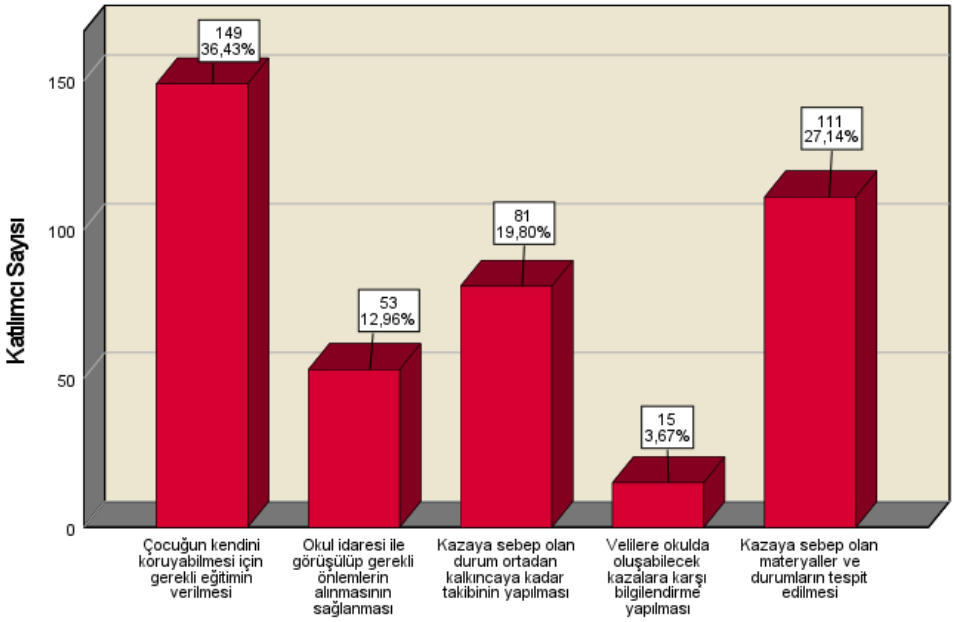


Görsel 4. Kazaların meydana gelebileceği yerler

Görselde anaokullarında meydana gelen kazaların en çok hangi mekânlarda gerçekleştiği gösterilmektedir. Verilere göre kazaların en yüksek oranda okul bahçesinde (%55,26) meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuç, çocukların fiziksel oyun etkinliklerinin büyük bir kısmını açık alanlarda gerçekleştirmeleri, hareket özgürlüğünün fazla olması ve oyun materyallerinin çeşitliliği gibi etkenlerle açıklanabilir. Açık alanlarda koşma, tırmanma, bisiklet veya top oyunları gibi etkinlikler, denge ve koordinasyon becerileri tam gelişmemiş okul öncesi çocuklarda düşme, çarpma ya da çarpışma riskini artırmaktadır.

Kazaların %19,07'sinin sınıf ortamında gerçekleşmesi, sınıf içinde yer alan mobilya düzeni, oyuncakların düzensiz kullanımı veya çocukların birbirleriyle olan etkileşimleri gibi faktörlerin kazalara zemin hazırlayabileceğini göstermektedir. Merdivenlerde meydana gelen kazalar (%15,65) ise özellikle iniş-çıkış sırasında dikkat eksikliği, kalabalık hareketler veya yetersiz gözetimle ilişkilendirilebilir. Tuvalet (%9,05) ve yemekhane (%0,98) oranları görece düşük olmakla birlikte, bu alanlarda kayma, düşme gibi kazaların yaşanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bulgular, okul öncesi eğitim kurumlarında riskli alanların belirlenmesi ve güvenlik önlemlerinin bu alanlara odaklanarak planlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle okul bahçeleri ve merdivenler için zemin güvenliğinin sağlanması, kaymaz materyallerin kullanılması, düzenli gözetim yapılması ve çocukların güvenli oyun alışkanlıklarının kazandırılması önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, fiziksel ortam düzenlemeleriyle birlikte öğretmen ve yardımcı personelin sürekli gözetim ve rehberliği, kazaların önlenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir.



Görsel 5. Kazalara karşı alınabilecek önlemler

Görselde, anaokullarında meydana gelebilecek kazaların en aza indirilmesi için alınabilecek önlemlere ilişkin görüşlerin oranları yer almaktadır. Verilere göre, en yüksek oran çocuğun kendini koruyabilmesi için gerekli eğitimin verilmesi (%36,43) seçeneğinde görülmektedir. Bu bulgu, çocuklara erken yaşta güvenlik bilincinin kazandırılmasının, kazaların önlenmesinde temel bir strateji olduğunu ortaya koymaktadır. Çocukların potansiyel tehlikeleri tanımayı ve uygun tepkiler geliştirmeyi öğrenmeleri, riskli durumların büyük ölçüde azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

İkinci sırada yer alan kazaya sebep olan materyallerin ve durumların tespit edilmesi (%27,14), fiziksel ortam düzenlemesinin ve güvenlik denetimlerinin önemine işaret etmektedir. Okul ortamında düzenli risk analizlerinin yapılması, potansiyel tehlike kaynaklarının belirlenerek ortadan kaldırılması, kazaları önlemeye yönelik etkili bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

Kazaya sebep olan durum ortadan kalkıncaya kadar takibinin yapılması (%19,80) oranı, önleyici çalışmaların sürekliliğine dikkat çekmektedir. Bu yaklaşım, kazaların yalnızca anlık müdahalelerle değil, sistematik bir takip ve değerlendirme süreciyle yönetilmesi gerektiğini göstermektedir. Okul idaresi ile görüşülüp gerekli önlemlerin alınmasının sağlanması (%12,96) seçeneği, kurumsal düzeyde koordinasyonun önemini vurgularken; velilere olası kazalarla ilgili bilgilendirme yapılması (%3,67) oranının düşük olması, aile katılımının kaza önleme süreçlerinde yeterince etkin kullanılmadığını göstermektedir.

Genel olarak grafik, okul öncesi eğitim kurumlarında kazaların önlenmesine yönelik çalışmaların yalnızca fiziksel ortamla sınırlı kalmaması, aynı zamanda çocuk, öğretmen, yönetici ve veli iş birliğini içeren bütüncül bir güvenlik kültürü yaklaşımıyla ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu araştırmada, okul öncesi eğitim kurumlarında görev yapan öğretmen ve idarecilerin ilk yardım bilgi düzeyleri, öz değerlendirmeleri ve okul ortamında ilk yardım uygulamalarına ilişkin görüşleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır.

Araştırmaya katılanların büyük çoğunluğunu kadın öğretmenler oluşturmakta olup, yaş dağılımı incelendiğinde katılımcıların çoğunluğunun orta yaş grubunda yer aldığı görülmektedir. Eğitim durumlarına bakıldığında, lisans mezunlarının ağırlıkta olduğu ve lisansüstü eğitim düzeyine sahip öğretmenlerin sınırlı sayıda olduğu belirlenmiştir. Bu durum, öğretmenlerin önemli ölçüde mesleki deneyime sahip olduklarını, ancak akademik gelişim açısından lisansüstü eğitimin teşvik edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Katılımcıların görev türü ile ilk yardım bilgi düzeyleri arasındaki analizlerde anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Bu sonuç, öğretmen ve idarecilerin benzer düzeyde bilgiye sahip olduklarını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, öğretmenlerin öğrencilerle doğrudan etkileşimde olmaları nedeniyle puan ortalamalarının biraz daha yüksek olması, sınıf içi deneyim ve gözlemlerin bilgiye katkı sağladığını göstermektedir. Ancak p değerlerinin 0,05'in üzerinde olması, bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir.

Araştırma kapsamında katılımcıların %76'sının ilk yardım eğitimi aldığı, ancak yalnızca %16'sının kendisini yeterli bulduğu tespit edilmiştir. Bu durum, verilen eğitimin uygulamaya yeterince yansımadığını ve bilgi düzeyinin kalıcılığının sınırlı olduğunu göstermektedir. Temel kavramlara ilişkin bilgiler doğru olmakla birlikte, solunum güçlüğü, buruna yabancı cisim kaçması, elektrik çarpması, yanık ve zehirlenme gibi özel durumlarda önemli bilgi eksikliklerinin bulunduğu saptanmıştır. Bu eksiklikler, acil durumlarda yanlış müdahalelerin ciddi sonuçlar doğurabileceğini ortaya koymaktadır.

Okullarda ilk yardım dolaplarının büyük ölçüde mevcut olduğu (%74) görülmekle birlikte, personelin bilgi ve becerilerinin yetersizliği dikkat çekmektedir. Katılımcıların yarısından fazlası kendilerini kısmen yeterli görürken, önemli bir kısmı yeterli olmadığını ifade etmiştir. Bu bulgu, yalnızca ekipman bulunmasının yeterli olmadığını, ekipmanı doğru şekilde kullanabilecek bilgi ve beceriye sahip personelin varlığının önemini vurgulamaktadır.

Genel olarak, araştırma bulguları öğretmen ve idarecilerin temel ilk yardım bilgisine sahip olduklarını, ancak uygulamaya yönelik ayrıntılarda eksikliklerinin bulunduğunu göstermektedir. Özellikle öğrencilerle sürekli etkileşimde olan öğretmenlerin, olası kazalara doğru ve hızlı müdahale edebilmeleri için bilgi düzeylerinin geliştirilmesi gereklidir.

Bu doğrultuda öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- İlk yardım eğitimleri yalnızca teorik bilgiyle sınırlı kalmamalı, uygulamalı eğitimlerle desteklenmelidir. Hizmet içi eğitimlerin düzenli aralıklarla tekrarlanması önemlidir.
- Okul öncesi kurumlarda görev yapan tüm öğretmen ve idarecilerin belirli aralıklarla ilk yardım sertifikası alması ve yenilemesi zorunlu hâle getirilmelidir.
- Okullarda yıl içerisinde düzenli ilk yardım tatbikatları yapılmalı, personelin acil durumlara hazırlıklı olması sağlanmalıdır.
- Eğitim fakültelerinde ilk yardım konusuna daha fazla yer verilmeli ve özellikle okul öncesi öğretmen adayları mezun olmadan önce uygulamalı eğitimlerden geçirilmelidir.
- İlk yardım eğitimleri yalnızca öğretmenlerle sınırlı kalmamalı, okul personeli ve veliler de bu sürece dâhil edilmelidir.
- Millî Eğitim Bakanlığı tarafından okullarda ilk yardım uygulamaları için standartlar belirlenmeli, denetimler düzenli olarak yapılmalı ve eksiklikler giderilmelidir.

KAYNAKLAR

Akçay D, Yıldırımlar A. *Çocukların Okul Ortamında Kaza Geçirme ve Güvenlik Tedbirlerine Yönelik Ebeveyn Davranışlarının İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi. 2018; 11(1): 48-55.*

Aktaş, M. N., *Sağlık eğitimi veren bir üniversitede okuyan öğrencilerin afet bilinci ve temel ilk yardım düzeylerinin değerlendirilmesi: bir vakıf üniversitesi örneği*, Bezmialem Vakıf Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul/Türkiye, 2022.

Albayrak, P., *Bebek ve Çocuklar için Temel İlk Yardım*, Boyut Yayın Grubu, İstanbul, 2007.

Albayrak, P., *Bebekler ve Çocuklar İçin Temel İlk Yardım: Adım Adım Uygulamalı (6. Baskı, ss. 77–85)*, Boyut Yayın Evi, İstanbul, 2015.

Badır, A., *Klinik Cep Kitabı*, Deomed Medikal Yayıncılık, İstanbul, 2005.

Bakanlığı, T. S. (2002). Tanı Ve Tedavi Rehberleri 2003.

Beaty, J. J., *Okul öncesi öğretmenlerinin becerileri*, Merrill, Columbus, 1988.

Bertan, M. & Çakır, B., *Halk sağlığı yönünden kazalar*. İçinde: M. Bertan & Ç. Güler (Ed.), *Halk Sağlığında Temel Bilgiler* (s. 462–472), Güneş Kitabevi, Ankara, 1995.

Bumin, M. A. & Ayoğlu, F., *Trafik Kazalarında Temel İlkyardım*, EGM Basımevi, Ankara, 1998.

Çevik, M. S., *Okul öncesi eğitim kurumları dış mekânlarının kaza unsurları açısından incelenmesi*, 2007.

Decker, C. A. & Decker, J. R., *Planning and Administering Early Childhood Programs*, Merrill Prentice Hall, New Jersey, 2005.

Erkal, S. & Canan, Y., *Çocukların okulda kaza geçirme durumu ve okulda kaza geçirmelerini önlemeye yönelik ebeveyn davranışlarının incelenmesi, Hacettepe Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 2010.

Eraslan, R. ve Aycan, S. (2008). *Ortaokul çocuklarında okul kazalarının sıklığının incelenmesi. Türk Çocuk Hastalıkları Dergisi , 2 (1), 8-18.*

Gevrek Akar, S., *Temel eğitim kurumlarında alınan güvenlik önlemlerinin okul kazalarına etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2017.

Güler, Ç. & Bilir, N., *Temel İlk Yardım (A Düzeyi)*, 1. Baskı, Ankara, 1994.

İkizler, H. C., *Temel İlk Yardım*, Neşe Matbaacılık, İstanbul, 2016.

Karaküçük, S. A., *Okul öncesi eğitim kurumlarında fiziksel/mekânsal koşulların incelenmesi: Sivas ili örneği*, *Sosyal Bilimler Dergisi/Journal of Social Sciences*, 32(2), 2008.

Kılıç, M., *Çocukluk çağı güvenlik eğitimine gelişimsel yaklaşım*, *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 11(3), 85–95, 1995.

Kıran, S., Şemin, S. & Ergör, A., *Kazalar ve toplum sağlığı yönünden önemi*, *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi (STED)*, Şubat, 2001.

MEB, *Okul Öncesi Eğitim Rehberlik Programı*, http://ttkb.meb.gov.tr/dosyalar/programlar/ilkogretim/rehberlik_okuloncesi.pdf (Erişim tarihi: 22.10.2025).

Oktay, A., *Yaşamın Sihirli Yılları: Okul Öncesi Dönem*, Epsilon, İstanbul, 2000.

Özcebe, H., *Çocuk ve kazalar*, *III. Ulusal Ana Çocuk Sağlığı Kongresi Bildiri Özetleri, Sosyal Pediatri Dergisi Özel Sayısı*, 154–163, 2005.

Özkubat, S., *Okul öncesi kurumlarında eğitim ortamlarının düzenlenmesi ve donanım*, *Adnan Menderes Üniversitesi Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 4(2), 58–66, 2013.

Rasmus, A. & Czekajlo, M. S., *A national survey of the Polish population's cardiopulmonary resuscitation knowledge*, *European Journal of Emergency Medicine*, 2000.

Sakıncı, Ü. (1982). Sağlık el kitabı (2. Baskı). Ankara: Eser Yayınevi.

Stokes, H. & Cuervo, H., *Challenging occupational health and safety education in schools*, *International Journal of Learning*, 16(2), 2009.

T.C. Anadolu Üniversitesi, *Temel İlk Yardım Bilgisi*, Açıköğretim Fakültesi Yayını, Eskişehir, 2019.

T.C. Sağlık Bakanlığı. İlk Yardım Yönetmeliği. Resmi Gazete.2015; Sayı: 29429. Report No: 2015/07/20150729-2.Htm

T.C. Sağlık Bakanlığı İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü Acil Sağlık Hizmetleri Şubesi, *Temel İlk Yardım Uygulamaları Eğitim Kitabı*, 2006.

Toraman, F. (2024). Serebral palsili çocukların bakımı ile ilgilenen aile üyelerinin ilk yardım bilgi düzeylerinin belirlenmesi. T.C. Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yalova/Türkiye.

Ustaoğlu, E., *Eğitim kurumlarında iş sağlığı ve güvenliği üzerine bir çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, 2020.

PNÖMOKONYOZ MESLEK HASTALARININ ÖZELLİKLERİNİN GİZİL SINIF ANALİZİ

Zeynep BAŞAR[1]
[1]İstanbul Medeniyet Üniversitesi, zbasar@sgk.gov.tr -0000-0001-9577-0961

Prof.Dr.Mithat ZEYDAN[2]
[2]İstanbul Medeniyet Üniversitesi, mithat.zeydan@medeniyet.edu.tr- 0000-0001-9459-146X

ÖZET

Pnömokonyoz, özellikle solunabilir kristalin silika (RCS) gibi inorganik partiküllere maruziyeti sonucunda gelişen, ilerleyici olmakla birlikte önlenebilir bir akciğer hastalığıdır. Bu çalışmada veriler Sosyal Güvenlik Kurumu'ndan resmi olarak temin edilmiş olup 2020-2023 yılları arasında çeşitli sektörlerde çalışan pnömokonyoz meslek hastalığı tanısı olan 554 kişiden oluşmaktadır. Bu çalışma, pnömokonyoz tanısı almış çalışanların risk profillerini yalnızca sektörel etiketlerle değil, işletme büyüklüğü, coğrafi konum ve mesleki nitelikler ekseninde derinlemesine analiz ederek, gizli kalmış risk fenotiplerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Analiz sonucunda, olguların tek tip bir risk grubu oluşturmadığı, aksine dört ayrık fenotip altında kümelendiği saptanmıştır. Sınıf 1, metal ve mineral imalatında faaliyet gösteren büyük ölçekli metal sanayi çalışanlarını; sınıf 2, aynı sektörde ancak daha sınırlı iş sağlığı ve güvenliği denetim olanaklarına sahip küçük ve orta büyüklükte işletme ölçeğindeki metal atölyesi çalışanlarını temsil etmektedir. Sınıf 3, sektörden bağımsız olarak doğrudan işlem noktasında maruziyet yaşayan metal sektörü ustaları ve sanatkarlarından oluşmaktadır. En çarpıcı ayrışma ise sınıf 4 olarak tanımlanan Karadeniz Bölgesi madencileri grubunda görülmüştür; bu grup, yalnızca sektörel değil, aynı zamanda coğrafi bir kümelenme göstererek metal kaynaklı tozlardan tamamen farklı bir risk grubuna işaret etmektedir. Sonuç olarak pnömokonyoz ile mücadelede tek tip politikalar yerine, işletme ölçeği, çalışan profili ve bölgesel sektörel yoğunlaşmalara göre denetim ve sürveyans stratejilerinin geliştirilmesi çok önemlidir.

Anahtar kelimeler: Pnömokonyoz, latent sınıf analizi, iş sağlığı, risk fenotipleri.

LATENT CLASS ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF PATIENTS WITH OCCUPATIONAL PNEUMOCONIOSIS

Zeynep BAŞAR[1]

[1]Istanbul Medeniyet University, zbasar@sgk.gov.tr, 0000-0001-9577-0961

Prof. Dr. Mithat ZEYDAN[2]

[2]Istanbul Medeniyet University, mithat.zeydan@medeniyet.edu.tr, 0000-0001-9459-146X

ABSTRACT

Pneumoconiosis is a progressive yet preventable lung disease that develops resulting from exposure to inorganic particles, particularly respirable crystalline silica (RCS). The data for this

study were officially obtained from the Social Security Institution and comprise 554 individuals diagnosed with occupational pneumoconiosis across various sectors between 2020 and 2023. This study aims to reveal latent risk phenotypes by analyzing the risk profiles of employees diagnosed with pneumoconiosis in depth, focusing not only on sectoral labels but also on enterprise size, geographic location, and occupational qualifications. The analysis revealed that the cases do not constitute a uniform risk group but rather cluster under four distinct phenotypes. Class 1 represents large-scale metal industry workers engaged in metal and mineral manufacturing, while Class 2 represents metal workshop workers in small and medium-sized enterprises (SMEs) within the same sector, which have more limited occupational health and safety inspection capabilities. Class 3 consists of metal sector craftsmen and artisans who experience exposure directly at the point of operation, independent of the specific sector. The most striking distinction was observed in the group of miners in the Black Sea Region, defined as Class 4; this group exhibits both sectoral and geographic clustering, pointing to a risk group entirely different from metal-originated dusts. In conclusion, instead of uniform policies in the fight against pneumoconiosis, it is crucial to develop inspection and surveillance strategies based on enterprise scale, employee profile, and regional sectoral concentrations.

Keywords: Pneumoconiosis, latent class analysis, occupational health, risk phenotypes.

1.GİRİŞ

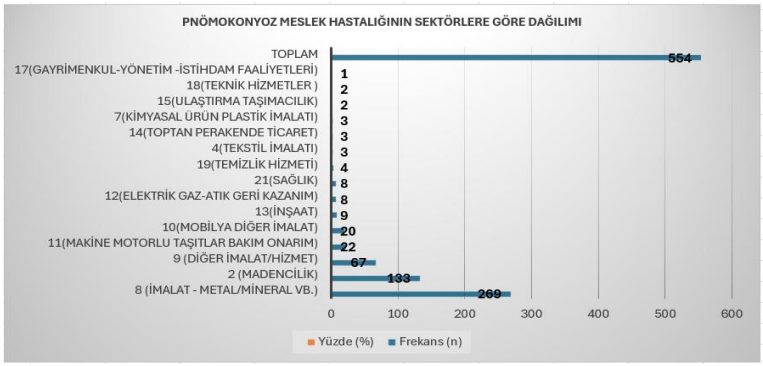
Esasen önlenebilir nitelikte bir meslek hastalığı olan pnömokonyoz; iş yerlerinde solunabilir kristalin silika (RCS) ve kömür madeni tozu gibi tozlara maruziyet sonucunda gelişmektedir (Delabre ve ark., 2023). Başta madencilik ve imalat sektörleri olmak üzere, solunabilir tozların akciğerlerde birikmesiyle karakterize olan bu tablo; silikozis, asbestoz ve siderozis gibi çeşitli solunum yolu hastalıklarına zemin hazırlamaktadır (Liu ve ark., 2024). Son kırk yılda birçok ülkede yürürlüğe konan yasal düzenlemelere ve iyileştirmelere rağmen, hastalık küresel bir mesleki sağlık sorunu olarak varlığını sürdürmektedir (Delabre ve ark., 2023). Küresel Hastalık Yükü verileri, 2019 yılı itibarıyla 3 milyonu aşkın prevalans, yaklaşık 200 bin yeni olgu ve 23 bini aşkın ölüm bildirirken, gelişmiş ülkelerde dahi vaka sayılarında yeniden artış eğilimleri gözlemlenmektedir (Li ve ark., 2024). Hastalığın patogenezinde ortamdaki tozun fiziksel ve kimyasal yapısı, yoğunluğu ve maruziyet süresi kritik rol oynarken; çalışanların bireysel özellikleri ve alınan koruyucu önlemlerin etkinliği de belirleyici faktörlerdir (Liu ve ark., 2024). Epidemiyolojik veriler, kümülatif solunabilir kristalin silika maruziyeti ile silikozis arasında güçlü bir doz-yanıt ilişkisi olduğunu kanıtlamaktadır. 65.977 çalışanı kapsayan geniş çaplı bir meta-analiz, kümülatif maruziyetin 4 mg/m³·yıl düzeyinden 2 mg/m³·yıl düzeyine düşürülmesinin, madencilerde göreli riski %77, madenci olmayanlarda ise %45 oranında azalttığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, kümülatif maruziyetin riskin en güçlü belirleyicisi olduğunu doğrulamakla birlikte; sektör, iş unvanı ve maruziyet yoğunluğu gibi değişkenlerin de ilişkiyi modifiye ettiğini göstermektedir (Howlett ve ark., 2024). Sektörel bazda incelendiğinde; riskin inşaat, maden, taş ocağı, cam, seramik, beton üretimi ile kırma-eleme ve taşlama gibi proseslerde yoğunlaştığı görülmektedir. 2017 yılı Fransa verilerine göre yaklaşık 975.000 çalışanın RCS'ye maruz kaldığı ve bu maruziyetin büyük kısmının inşaat alt sektörlerinde kümelendiği bildirilmiştir (Delabre ve ark., 2023). Benzer şekilde İtalya'da

SIREP (Karsinojenlere mesleki maruziyet kayıt sistemi) kayıtlarına dayalı analizler, ölçümlerin büyük bölümünün eşik değerleri aştığını ve özellikle inşaat ile madencilik sektörlerinde maruziyetin anlamlı düzeylerde yüksek seyrettiğini göstermiştir (Scarselli ve ark., 2014). Güney Afrika altın madenlerinde yapılan bir kesitsel çalışmada ise silikozis prevalansı %18,3 ile %19,9 aralığında tespit edilmiştir (ILO, 2024). Öte yandan, kot kumlama gibi iş kollarında görülen yüksek yoğunluklu ve kısa süreli maruziyetler, genç yaşta dahi hızlı ilerleyen silikozis tablolarına ve yüksek mortaliteye yol açabilmektedir (Doğanay ve ark., 2010). Meslek hastalıklarının önlenmesi ve yönetimi, teknik önlemlerin ötesinde sosyal ve yapısal dinamikleri de içermektedir (Cunningham ve ark., 2017). Özellikle küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde (KOBİ) gözlenen kaynak kıtlığı ve iş sağlığı ve güvenliği örgütlenmesindeki eksiklikler, güvenlik uygulamalarının yetersiz kalmasına neden olmaktadır (NowrouziKia ve ark., 2019; Zhang, 2025). Eğitim düzeyi, koruyucu donanıma erişim ve kurumsal denetim mekanizmaları gibi sosyal belirleyiciler hastalığın ortaya çıkışında önemli rol oynamaktadır (Sinclair & Cunningham, 2014). Bu bağlamda, mühendislik önlemlerinden hava izleme sistemlerine kadar uzanan çok katmanlı stratejilerin ulusal politikalara entegre edilmesi gerekliliği vurgulanmaktadır (WorkSafe Australia, 2024). Ayrıca, kırma-eleme ve paketleme gibi spesifik proseslerde yasal sınırların üzerindeki toz düzeyleri, sektöre özgü risk analizlerinin önemini artırmaktadır (Gbondo ve ark., 2024). Hastalığın tanısı ve taranması günümüzde halen göğüs radyografilerinin ILO Uluslararası Sınıflandırması'na göre manuel yorumlanmasına dayanmaktadır (Ovacıllı ve ark., 2020). Veri analizi boyutunda ise geleneksel istatistiksel yöntemler genellikle "değişken odaklı" bir yaklaşım sergileyerek, değişkenler arasındaki ortalama ilişkileri inceler; ancak bu yöntemler popülasyon içindeki karmaşık alt grupları ve heterojenliği ortaya çıkarmada yetersiz kalabilir (Collins & Lanza, 2010). Buna karşın, kişi odaklı bir yaklaşım olan Gizil Sınıf Analizi (Latent Class Analysis- LCA), bireylerin belirli özelliklerine dayanarak benzer örüntülere sahip homojen alt gruplara ayrılmasını sağlar (Hagenaars & McCutcheon, 2002). LCA'nın temel felsefesine göre; sektör, meslek kodu, bölge ve işletme büyüklüğü gibi gözlenen kategorik değişkenler arasındaki ilişkiler, aslında doğrudan gözlenemeyen gizil bir sınıf yapısı tarafından açıklanabilir (Nylund-Gibson & Choi, 2018). Bu yöntem, özellikle pnömokonyoz gibi çok faktörlü hastalıklarda, hangi çalışan profillerinin bir araya gelerek yüksek risk kümeleri oluşturduğunu belirlemek için etkin bir araçtır (Collins & Lanza, 2010). Bu çalışma kapsamında, pnömokonyoz tanısı almış çalışanlara ait retrospektif veriler kullanılarak, hastalığın demografik ve sektörel belirleyicileri Gizil Sınıf Analizi (LCA) yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmada; işyeri NACE kodları, çalışan meslek kodları, işletme büyüklüğü ve coğrafi bölge kategorik göstergeleri kullanılarak, maruziyet profillerine göre ayrışan gizil risk sınıfları belirlenmiştir. Araştırmanın temel amacı, yalnızca genel risk faktörlerini saptamak değil, aynı zamanda özgül çalışan profillerini ortaya koyarak, sektöre özgü ve proaktif önleme stratejileri için kanıta dayalı bir zemin oluşturmaktır (Zhang ve ark., 2024; Li ve ark., 2024).

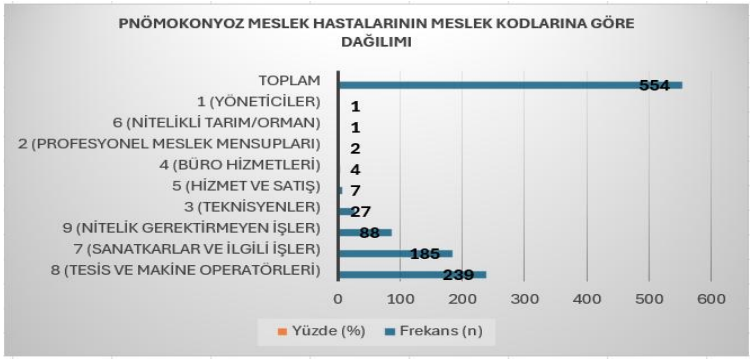
2. UYGULAMALAR

Bu araştırma veri seti Sosyal Güvenlik Kurumu'ndan resmi olarak temin edilmiş olup 2020-2023 yılları arasında çeşitli sektörlerde çalışan pnömokonyoz meslek hastalığı tanısı olan 554 kişiden oluşmaktadır. Çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizleri IBM SPSS

Statistics 25.0 paket programı kullanılarak yapılırken, Gizil Sınıf Analizi (LCA) Google Colab platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bulunan 554 çalışanın sosyo-demografik ve sektörel özellikleri bütüncül olarak değerlendirildiğinde, örneklemin ağırlıklı olarak büyük ölçekli endüstriyel işletmeleri ve üretim odaklı mavi yakalı işgücünü temsil ettiği görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Pnömokonyoz meslek hastalığının sektörlere göre dağılımı



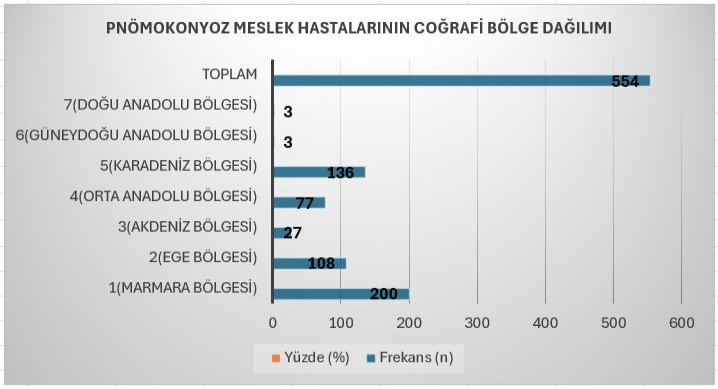
Şekil 2. Pnömokonyoz meslek hastalığının meslek kodlarına göre dağılımı

Bu kurumsal yapı ile uyumlu olarak, sektörel dağılımda imalat sanayii %48,6 ve madencilik sektörleri %24,0 baskın karakter sergilerken; mesleki profilde ise tesis ve makine operatörleri ile sanatkârlar, grup 8 ve 7 toplam örneklemin %76,5'ini oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 3. Pnömokonyoz meslek hastalarının işletme büyüklüğüne göre dağılımı

İşletme yapısı incelendiğinde, katılımcıların %71,3 gibi büyük bir çoğunluğunun orta ve büyük ölçekli işletmelerde istihdam edildiği, mikro ölçekli işletme payının ise %6,0 oldukça sınırlı kaldığı dikkati çekmektedir (Şekil 3).



Şekil 4. Pnömokonyoz meslek hastalarının coğrafi bölgelere göre dağılımı

Coğrafi olarak Marmara ve Karadeniz bölgelerinde kümelenen bu dağılım, çalışmanın pnömokonyoz riski taşıyan ağır sanayi ve yoğun üretim kollarını kapsayıcı bir nitelikte olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 4). Araştırmayla pnömokonyoz tanısı almış bireylerin oluşturduğu heterojen veri yapısının çözümlenmesi amaçlamıştır. Verideki gizli alt grupları belirlemek için birey odaklı bir yaklaşım olan gizil sınıf analizi tercih edilmiştir. LCA modellemesinde, optimal sınıf sayısının belirlenmesi için 1'den 6 sınıfa kadar ardışık modeller test edilmiştir. Model uyum iyiliği (Goodness of Fit); Akaike Bilgi Kriteri (AIC), Bayes Bilgi Kriteri (BIC) ve sınıflandırma kesinliğini gösteren Entropi değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde, sınıf sayısı arttıkça AIC değerinin sürekli bir düşüş eğilimi gösterdiği 10381,55'ten 8948,18'e, ancak model karmaşıklığını cezalandıran ve büyük örneklemlerde daha tutarlı sonuçlar veren BIC değerinin en düşük seviyesine dört sınıflı modelde BIC=9849,56 ulaştığı görülmüştür. Beşinci ve altıncı sınıflarda BIC değerinin tekrar yükselişe geçmesi ve dört sınıflı çözümün 0,97 gibi mükemmele yakın bir Entropi değerine sahip olması nedeniyle, dört sınıflı yapı nihai model olarak kabul edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Optimal Sınıf Sayısının Belirlenmesi İçin Model Performans Değerleri

SINIF	AIC DEĞERİ	BIC DEĞERİ	ENTROPİ DEĞERİ
SINIF 1	10381,55	10541,29	1
SINIF 2	9855,48	10179,27	0,81
SINIF 3	9399,22	9887,06	0,98
SINIF 4	9197,67	9849,56	0,97
SINIF 5	9043,89	9859,83	0,96
SINIF 6	8948,18	9928,18	0,98

Dört sınıflı modelin dağılım oranları ve sınıf yüzdeleri Tablo 2' de gösterilmektedir. Sınıflar içinde en yüksek oran 1 nolu sınıfa ait olup %32,8 N= 183 kişidir. Sınıf 2 ve 4 ise eşit orana sahip %22,56, N=125 kişi ve sınıf 3, %22,02, N=122 kişi ile temsil edilmektedir.

Tablo 2. Sınıf Oranları ve Yüzdesi

ATANAN SINIF	ORAN	YÜZDE
1	0,32	32,85
2	0,22	22,56
3	0,22	22,02
4	0,22	22,56

Bu çalışmada uygulanan Gizil Sınıf Analizi (LCA) sonucunda, model uyum indeksleri ve entropi değerleri dikkate alınarak dört sınıflı çözümün veri yapısını en iyi temsil ettiği belirlenmiştir. Belirlenen bu dört gizil sınıfın (latent class) demografik ve sektörel değişkenlere göre koşullu olasılık dağılımları Tablo 3'te sunulmuştur. Sınıfların karakterizasyonu, 0.70 ve üzeri yüksek olasılık değerleri ile belirleyici özellikler dikkate alınarak yapılmıştır. Birinci sınıf, işletme büyüklüğü ve sektörel kümelenme açısından en net ayrışan gruptur. Bu sınıfa atanan bireylerin tamamının Olasılık = 1.00 İşletme Büyüklüğü=4 kategorisinde yer aldığı görülmektedir. Sektörel dağılım incelendiğinde ise bu grubun %80 olasılıkla NACE kodu grup 8 genel imalat/sanayi içerisinde istihdam edildiği tespit edilmiştir. Bu bulgular, Sınıf 1'in kurumsal altyapısı gelişmiş, büyük ölçekli sanayi kuruluşlarında çalışan işçileri temsil ettiğini göstermektedir. İkinci sınıf, işletme ölçeği bakımından daha heterojen bir yapı sergilemekle birlikte, ağırlıklı olarak KOBİ statüsündeki işletmeleri kapsamaktadır. Bu gruptaki çalışanların %54'ü İşletme Büyüklüğü=3 (Orta Büyüklükte) ve %37'si İşletme Büyüklüğü=2 (Küçük İşletme) kategorisindedir. Sektörel bazda ise sınıf 1'e benzer şekilde NACE kodu grup 8 genel imalat sanayi (%51) baskın olmakla birlikte, diğer imalat kollarında da dağılım göstermektedir. Bu profil, orta ölçekli sanayi ve imalat atölyelerinde çalışan işçi grubunu yansıtmaktadır. Üçüncü sınıfı diğerlerinden ayıran en belirgin özellik, çalışılan sektörden ziyade icra edilen mesleğin niteliğidir. Bu sınıftaki bireylerin tamamı olasılık = 1.00, Meslek Kodu=7, ISCO-08: sanatkârlar ve ilgili işlerde çalışanlar grubunda yer almaktadır. Coğrafi olarak Marmara Bölgesi %52 ağırlıklı olmak üzere çeşitli bölgelere dağılmış olan bu grup; kaynakçılar, metal şekillendiriciler ve benzeri kalifiye zanaatkarları içeren meslek odaklı bir risk grubu olarak tanımlanmıştır. Dördüncü sınıf, çalışmanın en homojen ve sektörel riski en yüksek grubunu oluşturmaktadır. Bu sınıftaki çalışanların tamamı olasılık = 1.00, NACE kodu grup 2 madencilik ve taş ocakçılığı sektöründedir. Coğrafi dağılım açısından incelendiğinde, grubun

%60 gibi yüksek bir oranla Karadeniz coğrafi bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir ki bu durum madencilik faaliyetlerinin belirli havzalardaki bölgesel kümelenmesiyle uyumludur. Mesleki açıdan ise %69 oranında meslek kodu 8 tesis ve makine operatörleri ve montajcılar ile karakterize edilen bu grup, pnömokonyoz riski açısından "Madencilik Kümesi" olarak etiketlenmiştir. Sonuç olarak, LCA analizi, pnömokonyozlu çalışan popülasyonunun tek tip olmadığını; işletme ölçeği (Sınıf 1 vs Sınıf 2), mesleki uzmanlık (Sınıf 3) ve sektörel maruziyet (Sınıf 4) eksenlerinde ayrışan dört farklı risk profilinden oluştuğunu ortaya koymuştur.

Tablo 3. Gizil Sınıfların Karakteristik Özellikleri ve Koşullu Olasılık Dağılımları

	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4
İŞLETME BÜYÜKLÜĞÜ=1	0,00	0,10	0,11	0,02
İŞLETME BÜYÜKLÜĞÜ=2	0,00	0,37	0,37	0,20
İŞLETME BÜYÜKLÜĞÜ=3	0,00	0,54	0,37	0,30
İŞLETME BÜYÜKLÜĞÜ=4	1,00	0,00	0,15	0,48
COĞRAFİ BÖLGELER=1	0,37	0,40	0,52	0,09
COĞRAFİ BÖLGELER=2	0,26	0,17	0,06	0,24
COĞRAFİ BÖLGELER=3	0,05	0,05	0,05	0,03
COĞRAFİ BÖLGELER=4	0,10	0,26	0,27	0,03
COĞRAFİ BÖLGELER=5	0,21	0,11	0,10	0,60
COĞRAFİ BÖLGELER=6	0,00	0,00	0,00	0,01
COĞRAFİ BÖLGELER=7	0,00	0,01	0,01	0,00
MESLEK KODU=1	0,00	0,01	0,00	0,00
MESLEK KODU=2	0,03	0,04	0,00	0,00
MESLEK KODU=3	0,12	0,18	0,00	0,05
MESLEK KODU=4	0,01	0,06	0,00	0,01
MESLEK KODU=5	0,03	0,06	0,00	0,02
MESLEK KODU=6	0,01	0,02	0,00	0,00
MESLEK KODU=7	0,17	0,00	1,00	0,10
MESLEK KODU=8	0,35	0,36	0,00	0,69
MESLEK KODU=9	0,29	0,27	0,00	0,14
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=1	0,00	0,01	0,00	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=10	0,03	0,11	0,02	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=11	0,00	0,07	0,12	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=12	0,04	0,00	0,01	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=13	0,01	0,04	0,03	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=14	0,01	0,02	0,02	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=15	0,00	0,02	0,01	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=17	0,01	0,00	0,01	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=18	0,01	0,02	0,00	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=19	0,00	0,04	0,00	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=2	0,00	0,00	0,00	1,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=21	0,01	0,06	0,00	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=3	0,00	0,00	0,01	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=4	0,03	0,00	0,01	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=7	0,03	0,01	0,01	0,00

İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=8	0,80	0,51	0,43	0,00
İKİLİ NACE KODU GRUPLARI=9	0,03	0,10	0,34	0,00

Belirlenen gizil sınıfların; "İlk İşe Giriş Yaşı", "Hastalık Bildirim Yaşı" ve "Tehlike Sınıflarına Göre Prim Ödeme Gün Sayıları (POGS)" değişkenleri açısından farklılaşıp farklılaşmadığı incelenmiştir. Kolmogorov-Smirnov testi sonucunda verilerin büyük kısmının normal dağılım göstermediği ($p < 0.05$) ve varyans homojenliğinin sağlanamadığı belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Kolmogorov Smirnov Normallik Testi

Kolmogorov Smirnov Normallik Testi	Gruplar	Sig.
İLK İŞE GİRİŞ YAŞI	1	0,000
	2	0,000
	3	0,000
	4	0,000
HASTALIK BİLDİRİM YAŞI	1	,200*
	2	0,004
	3	,200*
	4	0,016
TEHLİKE SINIFI 1 ÇALIŞMA SÜRESİ	1	0,000
	2	0,000
	3	0,000
	4	0,000
TEHLİKE SINIFI 2 ÇALIŞMA SÜRESİ	1	0,000
	2	0,000
	3	0,000
	4	0,000
TEHLİKE SINIFI 3 ÇALIŞMA SÜRESİ	1	,200*
	2	,200*
	3	,200*
	4	,200*

Araştırma verilerinin büyük oranda normal dağılım varsayımını karşılamaması nedeniyle, belirlenen dört gizil sınıfa ait sürekli değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri içinden merkezi eğilim ve yayılım ölçüleri; Ortanca (Medyan) ve minimum-maksimum (Min-Max) değerleri kullanılarak özetlenmiştir. Demografik göstergeler incelendiğinde; iş gücüne katılımın en erken yaşandığı grubun grup 3 olduğu (Medyan=18, Min-Max: 12-32), buna karşın grup 1, grup 2 ve grup 4'ün benzer şekilde 19 yaş medyan değerine sahip olduğu görülmektedir. Hastalık bildirim yaşı açısından ise belirgin bir farklılaşma mevcuttur. Grup 4, 41 yaş (Min-Max: 23-60) ile hastalığın en genç yaşta bildirildiği risk grubunu oluştururken; grup 3, 44 yaş (Min-Max: 28-64) ile en ileri yaşta hastalık tanısı alan grubu temsil etmektedir. Bu durum, grup 4'teki hastalık progresyonunun daha hızlı, grup 3'te ise daha zamana yayılı olduğuna işaret etmektedir.

Mesleki maruziyet süreleri (Prim Ödeme Gün Sayıları- POGS) tehlike sınıflarına göre değerlendirildiğinde, gruplar arasındaki yapısal farklar netleşmektedir. Tehlike sınıfı 1 tüm gruplar için medyan değerin '0' olması, örneklemin genelinde bu düşük riskli sınıfta çalışmanın yaygın olmadığını göstermektedir. Tehlike sınıfı 2 değişkeni, grup 3'ü diğerlerinden ayıran en kritik parametredir. Grup 1, 2 ve 4'ün medyan çalışma süresi '0' iken; grup 3, 43 gün (Min-Max: 0-7561) medyan değeri ile tehlike sınıfı 2 en yoğun faaliyeti gösteren gruptur. Tehlike Sınıfı 3 tüm grupların en yüksek çalışma sürelerine sahip olduğu bu kategoride, grup 1 (Medyan=4584) en yüksek maruziyet süresine sahipken, onu sırasıyla grup 2 (4331), grup 3 (4175) ve grup 4 (4032) takip etmektedir. Bu veriler, tüm risk gruplarının ana çalışma aksının Tehlike sınıfı 3 (yüksek riskli işler) olduğunu doğrulamaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. Gizil Sınıflara Göre Demografik ve Mesleki Sürelerin Betimsel İstatistikleri

	GRUP 1		GRUP 2		GRUP 3		GRUP 4	
	MEDİAN	MİN-MAX	MEDİAN	MİN-MAX	MEDİAN	MİN-MAX	MEDİAN	MİN-MAX
İLK İŞE GİRİŞ YAŞI	19	11-40	19	13-16	18	12-32	19	12-37
HASTALIK BİLDİRİM YAŞI	42	25-61	42	25-63	44	28-64	41	23-60
TEHLİKE SINIFI 1 ÇALIŞMA SÜRESİ	0	0-6294	0	0-7163	0	0-3218	0	0-3126
TEHLİKE SINIFI 2 ÇALIŞMA SÜRESİ	0	0-8667	0	0-6723	43	0-7561	0	0-7413
TEHLİKE SINIFI 3 ÇALIŞMA SÜRESİ	4584	0-11174	4331	0-10047	4175	0-9175	4032	0-10545

LCA sonucunda elde edilen ve popülasyon üzerinde %22- %33 aralığında dengeli bir dağılım gösteren dört risk grubu, koşullu olasılık parametrelerine göre şu şekilde tanımlanmıştır. Sınıf 1 büyük ölçekli endüstriyel üreticiler, örneklemin en büyük bölümünü oluşturan bu grup, %100 olasılıkla en üst ölçekteki işletmelerde (İşletme Büyüklüğü=4) istihdam edilmektedir. Sektörel bazda %80 oranında 'Metal ve Makine İmalatı' NACE Grup 8 alanında yoğunlaşan grubun, mesleki profilini ağırlıklı olarak makine operatörleri ve montajcılar oluşturmaktadır. Sınıf 2 karma endüstri ve bölgesel geçiş grubu, bu sınıf, belirli bir bölgeye veya sektöre tam bağımlı olmayan, orta-büyük ölçekli işletmelerde çalışan ve coğrafi olarak Marmara, Ege ve Orta Anadolu bölgelerinde yayılım gösteren hibrit bir profildir. Sınıf 3 uzmanlaşmış zanaatkarlar, mesleki aidiyetin en belirleyici olduğu gruptur. Grubun tamamı, "Sanatkârlar ve İlgili İşlerde Çalışanlar" Meslek Kodu 7 kategorisindedir. Ağırlıklı olarak KOBİ niteliğindeki işletmelerde ve Marmara bölgesinde (%52) konumlanmıştır. Sınıf 4 yüksek riskli madencilik ve doğal kaynakların çıkarıldığı sektörler olarak adlandırılabilir. Sektörel ve bölgesel kümelenmenin en net olduğu gruptur. Tamamı “Madencilik ve Taşocakçılığı" NACE grup 2 sektöründe çalışan bu grubun, %60'ı belirli bir coğrafi risk havzasında Karadeniz Bölgesinde yer almaktadır. Gizil sınıflar arasında yaş ve maruziyet süreleri açısından yapılan Kruskal-Wallis analizi, grupların hastalık dinamiklerinin istatistiksel olarak birbirinden anlamlı düzeyde farklılaştığını ortaya koymuştur. Gruplar arası karşılaştırmalarda parametrik olmayan Kruskal-Wallis H Testi kullanılmıştır (Tablo 5). Anlamlı fark saptanan değişkenler için, farkın kaynağını belirlemek üzere ikili karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tablo 6. Kruskal-Wallis H Testi Sonuçları

Kruskal-Wallis H					
	İLK İŞE GİRİŞ YAŞI	HASTALIK BİLDİRİM YAŞI	TEHLİKE SINIFI 1 ÇALIŞMA SÜRESİ	TEHLİKE SINIFI 2 ÇALIŞMA SÜRESİ	TEHLİKE SINIFI 3 ÇALIŞMA SÜRESİ
Kruskal-Wallis H	10,055	11,133	7,138	9,876	5,114
Sig.	0,018	0,011	0,068	0,020	0,164

İşe başlama ve hastalık gelişim süreci gruplar arasında İlk İşe Giriş Yaşı (p = 0.018) ve Hastalık Bildirim Yaşı (p = 0.011) açısından anlamlı fark bulunmuştur. Sıra ortalamaları incelendiğinde paradoksal bir tablo ortaya çıkmaktadır: Sınıf 4 (Madenciler), iş gücüne en geç katılan grup olmasına rağmen, hastalığın en erken yaşta teşhis edildiği gruptur. Buna karşın sınıf 3 (Zanaatkarlar), iş hayatına en erken atılan ancak hastalığın en ileri yaşlarda ortaya çıktığı profili sergilemektedir. Mesleki maruziyet yoğunluğu orta düzey risk grubunu temsil eden "Tehlike Sınıfı 2 Prim Gün Sayısı" açısından sınıflar arasında anlamlı farklılık saptanmıştır (p = 0.020). Sınıf 3, bu tehlike kategorisinde en yüksek çalışma süresine sahipken; sınıf 4, bu kategoride en düşük süreyi sergilemiştir. Tehlike Sınıfı 1 ve 3 kapsamındaki çalışma sürelerinde ise gruplar arası istatistiksel bir fark gözlenmemiştir (p> 0.05) (Tablo 7).

Tablo 7. Sınıf Profillerinin Kruskal Wallis İkili Karşılaştırma Sonuçları

Sınıf Profillerinin Kruskal Wallis İkili Karşılaştırma Sonuçları					
	SINIF 1	SINIF 2	SINIF 3	SINIF 4	Sig.
İLK İŞE GİRİŞ YAŞI	275,69	273,54	248,68	312,22	0,018
HASTALIK BİLDİRİM YAŞI	272,11	284,91	311,34	244,91	0,011
TEHLİKE SINIFI 2 ÇALIŞMA SÜRESİ	279,87	282,32	302,45	244,88	0,020

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, pnömokonyoz etiyolojisinde tek tip hasta yaklaşımının ötesine geçerek, maruziyetin niteliğine göre şekillenen farklılıkları ortaya koymaktadır. Elde edilen en önemli bulgu, sınıf 4 madencilik ve sınıf 3 zanaatkarlar arasındaki latent dönem farklılığıdır. Madencilik sektöründe çalışanların işe geç başlamalarına rağmen hastalığa en erken yaşta yakalanmaları, bu gruptaki maruziyetin yüksek yoğunluklu ve agresif bir nitelik taşıdığını düşündürmektedir. Literatürde hızlandırılmış silikozis olarak tanımlanan tabloyla örtüşen bu durum, maden sektöründeki toz konsantrasyonunun yasal sınırların üzerinde olabileceğine ve hastalığın progresyon süresini dramatik şekilde kısalttığına işaret etmektedir. Çalışırken kaynakta toz yapıcı tehlikeye ait tedbirlerin alınarak toza maruziyetin azaltılması sağlanması gerekmektedir. Öte yandan, Sınıf 3 zanaatkarlar profili, zamana yayılmış hastalık profilini temsil etmektedir. Bu grubun işe çok erken yaşlarda muhtemelen çıraklık döneminde başlaması ve tehlike sınıfı 2 gibi orta riskli işlerde uzun yıllar çalışması, hastalığın daha yavaş ancak sinsi bir şekilde ilerlediğini göstermektedir. Bu grupta hastalık bildirim yaşının yüksek olması, bir "sağlıklılık" göstergesi değil; maruziyetin daha düşük yoğunlukta ancak çok uzun süreli devam ettiğinin bir kanıtıdır.

4.GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Araştırma bulguları, Türkiye'de pnömokonyoz sürveyansının sektörel risk profillerine göre özelleştirilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır. Sınıf 4 madencilik için maruziyet süresinden bağımsız olarak, işe girişten itibaren çok sık periyotlarla radyolojik tarama yapılmalı ve ortam toz ölçümleri birincil koruma stratejisi olarak tozun kaynağında azaltılması sağlanmalıdır. Sınıf 3 zanaatkarlar için hastalık uzun yıllar sessiz ilerlediğinden, bu gruptaki çalışanlar emekli olsalar dahi sağlık takiplerinin "Ömür Boyu İzlem" modeliyle devam ettirilmesi, geç dönem komplikasyonların yakalanması açısından hayatidir.

KAYNAKÇA

1. Collins, L. M., & Lanza, S. T. (2010). *Latent class and latent transition analysis: With applications in the social, behavioral, and health sciences*. John Wiley & Sons.
2. Cunningham, T. R., Schulte, P. A., Jacklitsch, B. L., & Burnett, C. A. (2017). Surveillance of occupational health disparities: Challenges and opportunities. *American Journal of Industrial Medicine*, 60(1), 4-5.
3. Delabre, L., Pilorget, C., Guseva Canu, I., & Garras, L. (2023). Occupational exposure to respirable crystalline silica in France: 2017 data. *Annals of Work Exposures and Health*, 67(4), 1-12.
4. Doganay, M., Akkurt, I., & Ozkul, Y. (2010). Accelerated silicosis in sandblasting workers. *Occupational Medicine*, 60(1), 48-55.
5. Gbondo, M., Zhao, Y., Pham, T., & Rumchev, K. (2024). Occupational exposure to dust in stone crushing and packaging industries. *Safety and Health at Work*, 15(2), 3-4.
6. Hagenaars, J. A., & McCutcheon, A. L. (Eds.). (2002). *Applied latent class analysis*. Cambridge University Press.
7. Howlett, D., Cohen, R., & Smith, J. (2024). Cumulative silica exposure and silicosis: A meta-analysis. *Occupational and Environmental Medicine*, 81(2), 112-120.
8. ILO (International Labour Organization). (2024). *Occupational Safety and Health in Mining: A Global Review*. Geneva: ILO Publications.
9. Li, X., Zhou, Y., & Wang, Z. (2024). Global burden of pneumoconiosis: Trends and challenges. *The Lancet Respiratory Medicine*, 12(3), 200-210.
10. Liu, Y., Sun, X., Hu, W. J., & Liang-Ying, L. (2024). Analysis of dust exposure and pneumoconiosis characteristics. *Journal of Public Health*, 46(1), 2-3.
11. NowrouziKia, B., Nadesar, N., & Casole, J. (2019). Occupational health and safety in small and medium-sized enterprises. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 25(3), 350-358.
12. Nylund-Gibson, K., & Choi, A. Y. (2018). Ten frequently asked questions about latent class analysis. *Translational Issues in Psychological Science*, 4(4), 440–461.

13. Ovacıllı, F., Akkurt, İ., & Öztürk, M. (2020). ILO Pnömokonyoz sınıflandırmasının dijital radyografide uygulanabilirliği. *Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 20(2), 45-50.

14. Scarselli, A., Di Marzio, D., & Marinaccio, A. (2014). Analysis of occupational exposure to respirable crystalline silica in Italy. *La Medicina del Lavoro*, 105(5), 346-356.

15. Sinclair, R. C., & Cunningham, T. R. (2014). Safety climate and safety behavior in small businesses. *Journal of Occupational Health Psychology*, 19(1), 45-55.

16. WorkSafe Australia. (2024). *National Strategy for the Prevention of Silicosis and Silicosis-Related Diseases*. Canberra: Safe Work Australia.

17. Zhang, H. (2025). Safety management in SMEs: A review of recent literature. *Safety Science*, 145, 3-4.

18. Zhang, L., Wu, J., & Liu, K. (2024). Early screening strategies for occupational lung diseases. *Chest*, 165(4), 880-890.

SİNOP İLİNDEKİ TEKSTİL ÇALIŞANLARININ İŞ KAZASI GEÇİRME EĞİLİMLERİ: TANIMLAYICI BİR ARAŞTIRMA

Mine Kızılkan
Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
minekizilkan09@gmail.com

Doç. Dr. Nurdan Karpuz
Amasya Üniversitesi, Sabuncuoğlu Şerefeddin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu,
Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Optisyenlik Programı
nurdankarpuz@amasya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4911-8846

ÖZET

Bu çalışma, Sinop ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinde meydana gelen iş kazalarının demografik ve operasyonel özelliklerini betimsel bir yaklaşımla incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, retrospektif ve tanımlayıcı nitelikte olup, işletmeye ait iş kazası bildirim formları ve idari kayıtlar kullanılarak yürütülmüştür. Bu kapsamda, işletme kayıtlarında yer alan toplam 38 iş kazası olayı geriye dönük veri analizi yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, kazaya maruz kalan çalışanların %55,3'ü (n=21) kadın, %44,7'si (n=17) erkek çalışanlardan oluşmaktadır. Çalışanların yaş ortalaması 37 olup, kazaların en çok görüldüğü yaş grubunun %42,1 (n=16) ile 35-44 arası olduğu saptanmıştır. İş kazalarının klinik sonuçları incelendiğinde, vakaların, %34,2'sinin (n=13) geçici iş görmezlik ile sonuçlandığı, kaza bildirim süreleri değerlendirildiğinde, bildirimlerin ortalama 1.24 gün içerisinde tamamlandığı ve bildirimlerin %73,7 sinin kaza günü veya ilk gün içinde yapıldığı tespit edilmiştir. Bu durum, işletmede kaza bildirimi ve idari kayıt ve raporlama sisteminin etkinliğini göstermektedir.

Sonuç olarak, Sinop'taki tekstil sektöründe meydana gelen iş kazalarının özellikle kadın çalışanlar ve orta yaş grubunda yoğunlaştığı görülmektedir. Bulgular, tekstil sektörüne yönelik iş sağlığı ve güvenliği politikalarının geliştirilmesinde, risk analizi ve önleyici eğitim çalışmalarında kadın çalışanların demografik ve ergonomik ihtiyaçlarının göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, hedefe yönelik ergonomi temelli risk değerlendirmeleri ve önleyici eğitim programlarının iş kazalarının azaltılmasında önemli bir rol oynayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İş kazaları, tekstil sektörü, kadın çalışanlar, iş sağlığı ve güvenliği, kaza bildirim süresi.

SAĞLIK İŞLETMELERİNDE TIBBİ ATIK YÖNETİMİ ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFLERİ

Havali AKKAYA

KTO Karatay Üniversitesi/İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

havaliakkaya@hotmail.com 0000-0001-9460-0645

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Didem TUNÇEZ

KTO Karatay Üniversitesi/İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi/Enerji Yönetimi Bölümü/Enerji Yönetimi PR.

didem.tuncez@karatay.edu.tr 0000-0003-2841-6780

Özet

Teknolojinin hızla gelişmesiyle günümüzde çevre sorunları gün geçtikçe artmakta bu durumda insan ve çevre sağlığını tehdit etmektedir. Bununla birlikte hızlı nüfus artışı, bilinçsiz kaynak kullanımı, tüketim oranındaki artış atık sorunlarını gündeme getirmektedir. Atık konusunda en önemli sorunlardan bir tanesi de sağlık işletmelerinden kaynaklı tıbbi atıklardır. Tıbbi atık yönetimi, sağlık işletmelerinde çevre sağlığı ve insan güvenliği açısından önemli bir konudur. Tıbbi atıkların yanlış yönetimi sonucunda enfeksiyon oranlarının artmasına, çevre kirliliğine ve beraberinde halk sağlığı sorunlarının ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu derleme çalışmasının amacı, sağlık kuruluşlarındaki tıbbi atık yönetimine ilişkin güncel uygulamaları, mevzuat çerçevesini ve sürdürülebilirlik perspektiflerini literatür doğrultusunda değerlendirmektir. Çalışmada Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanlarında “medical waste management”, “hospital waste”, “sustainability”, “healthcare waste” anahtar kelimeleri kullanılarak 2015–2025 yılları arasındaki yayınlar incelenmiştir. Tıbbi atıkların sürdürülebilirliği açısından atık azaltma stratejileri, kaynağında ayrıştırma, enerji geri kazanımı, karbon ayak izinin düşürülmesi uygulamaları öne çıkmaktadır. Bununla birlikte personel eğitimi, maliyetler, mevzuat uyumu ve teknolojik altyapı eksiklikleri sağlık kuruluşlarında en sık karşılaştığı zorluklar olarak belirlenmiştir. Sürdürülebilir tıbbi atık yönetimi için, çevresel etkilerin azaltılması, kaynak verimliliğinin artırılması ve sağlık işletmelerinin kurumsal sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında stratejik bir önem taşımaktadır. Yapılan incelemeler sonucu geleceğin sağlık hizmetlerinde, bütünleşik yönetim modellerinin, dijital izleme teknolojilerinin ve yeşil hastane yaklaşımlarının öncelikli alanlar olacağı anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi atık yönetimi, Sürdürülebilirlik, Sağlık İşletmeleri, Çevresel risk

MEDICAL WASTE MANAGEMENT AND SUSTAINABILITY PERSPECTIVES IN HEALTH CARE FACILITIES

Havali AKKAYA

KTO Karatay Üniversitesi/İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

havaliakkaya@hotmail.com 0000-0001-9460-0645

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Didem TUNÇEZ

KTO Karatay Üniversitesi/İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi/Enerji Yönetimi Bölümü/Enerji Yönetimi PR.

didem.tuncez@karatay.edu.tr 0000-0003-2841-6780

Abstrack

With the rapid advancement of technology, environmental problems are incelsin daily, threatening human and environmental health. Furthermore, rapid population growth, indiscriminate resource use, and increased consumption rates are raising waste issues. One of the most significant waste-related problems is medical waste originating from healthcare facilities. Medical waste management is a crucial issue for environmental health and human safety in healthcare facilities. Mismanagement of medical waste leads to increased infection rates, environmental pollution, and the emergence of public health problems. The purpose of this review is to evaluate current practices, regulatory frameworks, and sustainability perspectives regarding medical waste management in healthcare institutions, based on the literature. This study examined publications published between 2015 and 2025 in the Web of Science, Scopus, and Google Scholar databases using the keywords "medical waste management," "hospital waste," "sustainability," and "healthcare waste." In terms of medical waste sustainability, waste reduction strategies, source separation, energy recovery, and carbon footprint reduction practices are prominent. However, staff training, costs, regulatory compliance, and technological infrastructure deficiencies have been identified as the most common challenges faced by healthcare organizations. Sustainable medical waste management is strategically important for reducing environmental impact, increasing resource efficiency, and achieving corporate sustainability goals for healthcare organizations. The analysis indicates that integrated management models, digital monitoring technologies, and green hospital approaches will be priorities in the future of healthcare.

Keywords: Medical waste management, Sustainability, Healthcare facilities, Environmental risk

PERAKENDE SEKTÖRÜNDE ERGONOMİK RİSK FAKTÖRLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Doktora Öğrencisi Özgür CENGİZ
Iğdır Üniversitesi
zgrcngz@hotmail.com
ORCID:0000-0001-5427-6086

Öğr. Gör. İsmail AKŞİT
Kafkas Üniversitesi Sarıkamış Meslek Yüksekokulu İSG Programı
ismailaksit.isak@gmail.com
0000-0003-4753-8505

ÖZET

Perakende alanı, yoğun müşteri akışı, sürekli ayakta bulunma, tekrar eden hareketler ve uygunsuz yük taşıma gibi unsurların bir arada bulunduğu çalışma koşulları nedeniyle ciddi ergonomik riskler barındırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, perakende çalışanlarının maruz kaldığı temel ergonomik riskleri tespit etmek, bu risklerin iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından oluşturduğu etkileri incelemek ve iyileştirme önerileri sunmaktır. Çalışmada, literatürdeki bilgiler ve saha gözlemleri bir arada kullanılarak kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları, çalışma pozisyonları, ekipman kullanımı ve iş organizasyonu gibi temel başlıklar üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçlar, özellikle uzun süre ayakta kalmanın, yanlış kaldırma tekniklerinin, kasa ile raf arasındaki hareketlerin tekrarlanmasının ve ergonomik açıdan uygun olmayan çalışma alanlarının, çalışanlarda neden olduğu bel, boyun, omuz, el ve bilek bölgelerinde yaygın şikâyetlere neden olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, perakende sektöründe ergonomik risklerin azaltılması için iş istasyonlarının yeniden düzenlenmesi, yük kaldırma konusunda eğitim verilmesi, uygun ekipmanların kullanılması, vardiya planlamalarının geliştirilmesi ve periyodik ergonomi değerlendirmelerinin yapılması önerilmektedir. Bu çalışmada, sektörde ergonomik iyileştirme çalışmalarına katkı sunmaya ve çalışanların sağlığını korumaya ve farkındalık oluşturmaya yönelik önerilerde bulunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, Perakende sektörü, Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları, Çalışma pozisyonu analizi, Elle taşıma.

GİRİŞ

Perakende sektörü dünyada büyük bir hızla büyüyen iş alanlarından birisidir. Perakende sektörünü (süpermarketler, toptancılar, market, bakkal gibi) bu hususta ele alırsak son yirmi yıl içerisinde, başta büyükşehirler olmak üzere tüm yerleşim alanlarında yaygınlık kazanan sektörlerin başında yer almaktadır. İş hacminde yaşanan artışla birlikte, perakende sektöründe çalışan sayısı da düzenli bir şekilde artmaktadır. Hızla gelişen bu sektörde, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) tedbirlerinin bilimsel bir şekilde araştırılması ve gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında İSG' nin sadece Ergonomik uygulamaları ele alınmaktadır.

Ergonomik olmayan çalışma koşulları, çalışanların sağlığı için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Yük kaldırma işlerinin riskli olduğu ve bu sektörde çalışanların da birinci dereceden muhatap olduğu kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının sıkça meydana geldiği bilinmektedir. Çalışanları bu tehlikelerden korumak ve işverenin yükümlülüklerini yasal bir temele oturtmak amacıyla Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği (ÇSGB, 2013), 6331 sayılı Kanunun 30'uncu maddesine dayanarak hazırlanmıştır. Yönetmeliğin 4. maddesi elle taşıma işini, "bir veya daha fazla çalışanın bir yükü kaldırması, indirmesi, itmesi, çekmesi, taşıması veya hareket ettirmesi gibi eylemler sırasında, işin niteliği veya uygun olmayan ergonomik koşullar nedeniyle özellikle bel veya sırtın incinmesiyle sonuçlanabilecek riskleri içeren nakletme veya destekleme işleri" şeklinde tanımlamaktadır. Aynı yönetmeliğin 5. maddesinde ise "işveren, işyerindeki yüklerin elle taşınmasına gerek kalmayacak şekilde organizasyon yapmak ve yükün uygun yöntemlerle, özellikle mekanik sistemler aracılığıyla taşınmasını sağlamak için gerekli önlemleri almakla yükümlüdür. İlgili yönetmeliğin Ek-1 bölümünde ise yükle ilgili risk faktörleri detaylıca açıklanmıştır. Yükün elle taşınmasının kaçınılmaz olduğu durumlarda, Ek-1'de belirtilen hususları dikkate alarak elle taşımayla ilgili riskleri azaltmak için uygun yöntemlerin kullanılmasını sağlamalı ve gerekli düzenlemeleri yapmalıdır" ifadesi yer almaktadır. Perakende sektöründe çalışma koşullarının ergonomik bir biçimde düzenlenmesi hem çalışanların sağlığı hem de iş verimliliği açısından son derece önemlidir. Ergonomik risk analizleri, çalışma ortamını ve kullanılan aletleri, makineleri çalışanlar için uygun hale getirmek amacıyla gerçekleştirilir. Gerekli ergonomik iyileştirmeler yapıldığında, çalışanların işe bağlı olarak gelişen kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları ve yaralanmalarında azalma görülecektir. Bu yaralanmalar ya da iş kazalarına bağlı iş gücü kaybı, çalışanların tedavi masrafları ve tazminat gibi maliyetlerin minimuma inmesine yardımcı olmaktadır. Tüm bu maliyetler göz önüne alındığında, ergonomik iyileştirmenin hem çalışan hem de işveren açısından son derece önemli olduğu gerçeği kaçınılmazdır.

Ergonomi, eski Yunancada 'iş' anlamına gelen "ergon" ile 'kural' anlamına gelen "nomos" kelimelerinin birleşmesiyle oluşan ve Türkçe'de ergonomi olarak bilinen İSG'de çok önemli bir terimdir. Ergonomi, insan ile çalışma ortamı arasındaki etkileşimleri bilimsel bir şekilde inceleyen bir alan olarak tanımlanabilir. Bu bilim, çalışanların fiziksel ve zihinsel özelliklerini analiz ederek işin çalışana uygun hale gelmesi için gerekli şartları sağlamak amacıyla çalışmaktadır. İnsan, makine ve çevre arasındaki uyumu belirleyen, farklı disiplinlerin bir araya geldiği araştırma ve geliştirme çalışmaları topluluğudur. Üretim yapan her türlü işletmede, tasarım ve üretim süreçleri kapsamında hem çalışanlar hem de işverenler için ergonominin pek çok avantajı bulunmaktadır (OpenAI, 2025). Çalışanlar için bu avantajlar, iş tatminini artırmak,

sağlıklı fiziksel ve psikolojik çalışma ortamları sağlamanın yanı sıra iş güvenliğini ve verimliliği artırmayı hedefleyen iyileştirmeleri içermektedir. İşverenler açısından ise, verimlilik artışı, İSG uygulamalarında ilerlemeler, hata oranlarının düşmesi ve buna bağlı olarak üretim maliyetlerinde azalma ile hizmet kalitesinde yükseliş gözlemlenmektedir. Ergonomi, yalnızca iş alanını inceleyen bir bilim dalı olarak algılansa da bireylerin yaşamlarının her yönünden etkilendiği anlaşılmaktadır. Çalışanların iş kazalarından ve meslek hastalıklarından korunması için iş yerlerindeki mevcut ve potansiyel tehlike ile risklerin belirlenmesi esastır. Risklerin azaltılması amacıyla, çalışanların davranışlarının değiştirilmesi veya güvensiz çalışma sistemlerinin yenilenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. İş yerinde çalışanlar, fiziksel ve zihinsel kapasitelerini sınırlayan, işlerindeki verimliliklerini düşüren birçok farklı ergonomik risk ile karşı karşıya kalabilirler. Örneğin, çalışma alanının yetersiz genişlikte ve yükseklikte olması, ortam koşullarının (ısı, nem, hava akımı, titreşim gibi) çalışana uygun olmaması, tekrarlayan hareketler, dinlenme sürelerinin yetersizliği gibi faktörler çeşitli riskleri tetiklemektedir. Ek olarak, yönetim baskıları, çeşitli psikososyal etkenler ve aşırı zihinsel yüklenmeler de risk unsurları arasında yer almaktadır. İşle ilgili riskler yanında, çalışana özgü faktörler de ergonomik risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Bhattacharya ve Leigh, 2011; Çalış ve ark., 2021).

Perakende sektörü içinde elle malzeme taşıma işlemleri, çalışanlar için kas ve iskelet sistemine yönelik ciddi riskler ve iş kazaları oluşturur. Bu çalışma, market alanında elle malzeme taşımanın neden olduğu yaralanmaların azaltılmasına yönelik ergonomik stratejileri ve mekanik destek araçlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) tarafından yayımlanan kılavuz doğrultusunda; motorlu ve elle taşıma için uygun ekipmanlar, konveyör düzenleri, palet istifleme makineleri, vakumlu kaldırma sistemleri ile raf düzenleme arabaları gibi ergonomik çözümler ele alınmıştır. Elde edilen veriler, ergonomik malzeme kullanımının bel verme, uzatma, kaldırma ve taşıma ile ilişkili yaralanmaları önemli ölçüde azalttığını ve çalışan verimliliğini artırdığını göstermektedir. Ergonomik uygulamaların perakende marketlerde sistemli bir şekilde gerçekleştirilmesi, iş sağlığı ve güvenliği standartlarının yükseltilmesi açısından son derece hayati öneme sahiptir. (OSHA, 2004; NIOSH, 2014; Cincinnati, 2015; OSHA ve NIOSH, 2007).

LİTERATÜR ÖZETİ

Bedir ve arkadaşları (2017), şirketlerin başarısını etkileyen en önemli unsurlardan birinin çalışanların memnuniyeti olduğunu belirtmektedir. Çalışanların tatmin düzeyinde, iş şartlarının adil bir şekilde dağıtılması ve iş yerindeki fiziksel aktivitelerin dikkate alınarak çalışma saatlerinin düzenlenmesi oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Yapılan araştırmalarda, ergonomik faktörleri göz önünde bulunduran vardiya düzenleme uygulamalarının oldukça az yer aldığı görülmektedir. Çalışmalarında ergonomik koşulları dikkate alan vardiya düzenleme hususu incelenmiştir. Uygulama örneği olarak, uluslararası düzeyde 500'den fazla şubesi bulunan bir giyim markasının Kırıkkale'deki işyeri seçilmiştir. Problemin çözümü sırasında, ergonomik risk faktörlerinin ve çalışma saatlerinin uyumlu bir şekilde ayarlanmasının hedeflendiği anlaşılmaktadır. Sorunun çözümünde analitik hiyerarşi süreci ve hedef programlama yöntemleri tercih edilmiştir. Araştırma, 5 görev biriminde toplam 39 çalışan için aylık olarak gerçekleştirilmiştir.

Kirci ve arkadaşları (2020), lojistik alanındaki depo işlemlerinde çalışanların gün boyunca itme, çekme ve kaldırma gibi işler yaptığını belirtmektedir. Yoğun iş temposu, güç ihtiyacı, yanlış duruşlarda çalışmak ve fiziksel çevresel etmenler çalışanları olumsuz şekilde etkilemektedir. Araştırmalarının amacı, Marmara Bölgesi'ndeki Kocaeli ilinde yer alan bir lojistik deposunun ergonomik risk analizini yapmaktır. Araştırma, 8000 m² büyüklüğündeki kapalı alanda bulunan ve 57 personelin görev yaptığı bir örnek tesis, 5 farklı iş sürecinde 4 ay süreyle incelenmiştir. Çalışanların günlük iş pozisyonları, ergonomik risk değerlendirme yöntemleri olan REBA (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme Yöntemi), RULA (Hızlı Üst Ekstremite Değerlendirme Yöntemi) ve NIOSH (Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü) referans alınarak değerlendirilmiştir. REBA tekniğinde boyun, gövde ve üst ile alt uzuvlar bir arada göz önünde bulundurulurken, RULA tekniğinde ise insan bedeninin bilek, alt kol ve üst kol kısımları ile birlikte boyun, gövde ve bacak bölümleri değerlendirilmektedir. Böylece toplam risk skoru belirlenmektedir. Ayrıca çevre gürültüsü, kişisel ses, ortam tozu, bireysel toz, titreşim, kimyasal maddeler ve termal konfor ölçümleri akredite cihazlarla gerçekleştirilmiştir.

Michael ve Gorucu (2020), ahşap sektörüyle ilgili birçok firma, tesis içinde ürünlerin yüklenmesi, boşaltılması veya taşınması sürecinde forklift ve palet taşıyıcılarına başvurduğunu belirterek elle taşıma işleri durumları ele alınmıştır. Bu durumlarda yaşanan kazalar üzerine bir araştırma yapılırken, malların taşınmasını ve saklanmasını kolaylaştırmak için forklift ya da diğer motorlu endüstriyel araçların kullanımının önümüzdeki on yıl boyunca düzenli olarak artmasını öngördüklerini ifade etmişlerdir. Çalışmalarında ahşapla ilgili sektörlerin farklı alanlarında forklift ve palet taşıyıcılarının kullanımına bağlı olarak meydana gelen ciddi yaralanmaların incelenmesi amaçlanmıştır.

NIOSH (2014) tarafından hazırlanan broşür, perakendecilere ve güvenlik uzmanlarına, gıda perakendeciliğinde manuel malzeme taşıma ile ilgili yaralanmaları azaltmak için mekanik destek ekipmanlarının nasıl kullanılacağını göstermek üzere hazırlanmıştır. Broşürde, bir perakende gıda mağazasında çalışanların malzemeleri taşımak için yararlandığı mekanik destek ekipmanlarına dair örnekler bulunmaktadır. Her görev için tercih edilebilecek birden fazla mekanik cihazın bulunduğu vurgulanmıştır. Bir perakende işletmesinde kullanılan bu tür ekipmanların çeşitleri ve sayısı, işin özelliğine ve çalışanların yürüttüğü görev türüne göre değişiklik gösterir. Sunulan bu teknoloji, hızlı bir şekilde ve genellikle daha az personelle büyük miktarlarda mal taşımak zorunda olan perakendecilerin artan çevrimiçi satışlarını da destekleyecektir. Bu kapsamda elde edilen görseller bu çalışmada kullanılarak paydaşlarının faydasına sunulmuştur. Hem akademik alanda hem de İSG profesyonellerinin saha çalışmalarında kullanmaları amaçlanmıştır.

Ensari Özay ve Doğanbatır (2018), Türkiye'deki perakende sektörlerinden olan süpermarketler zincirine ait bir şubenin kasap, şarküteri, depo ve manav bölümlerindeki çalışanların elle yük kaldırma görevleri ile duruş pozisyonlarını inceleyerek ergonomik risk değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir. Çalışanların elle yük kaldırma işlemleri için güncellenmiş NIOSH (Ulusal Mesleki Sağlık ve Güvenlik Enstitüsü) kaldırma denklemi kullanılmış; duruş pozisyonları ise Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) yöntemiyle, itme ve çekme işleri de Snook tabloları yöntemiyle analiz edilmiştir. Kasap bölümünde tezgâh üzerinde mekanik değişiklikler önerilmiş ve bu iyileştirmeler sonucunda REBA skoru üçe indirgenerek daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmuştur. Manav reyonundaki çalışanlar için, kasaları

kaldırma ve tezgâh üzerine ürün yerleştirme sürelerinde yük miktarının ve asimetri açısının azaltılmasına dair tavsiyeler sunulmuştur. Depo alanında ise taşıma işlemlerinin forklift veya mekanik aletlerle yapılması önerilmiştir. Temizlik personelinin zemin temizliği sırasında yaptığı itme işleri için daha hafif bir temizlik cihazı temin edilmesi ya da bu işin iki personel tarafından dönüşümlü olarak gerçekleştirilmesi önerilmiştir.

Aydın (2021); perakende sektöründe et ve tavuk ürünleri satan bir firmada, çalışanların elle kaldırma işlemlerini yaptığı sipariş hazırlama alanı ile müşterilere hizmet sunulan reyonlardaki duruşlar incelenmiştir. Bu süreçte, çalışanların elle kaldırma işlemleri için NIOSH kaldırma denklemi ve reyon alanındaki çalışma duruşları için ise REBA yöntemi dikkate alınmıştır. Her iki iş istasyonunda yapılan değerlendirmeler sonucunda, bu bölgelerdeki çalışmaların risk düzeyinin yüksek olduğu tespit edilmiş ve iyileştirmelere ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır. Sipariş hazırlama noktasındaki analizde, kaldırmanın yapıldığı paletin yükseltilebilir bir transpalet ile değiştirilmesi gerektiği ve bunun yanında taşınan kutuların ağırlıklarının 20 kg'dan 15 kg'a indirilmesi gerektiği önerisi firmaya sunulmuştur. Reyon çalışması öncesinde REBA puanı başlangıçta 9 olarak belirlenmiş, burada yapılan iyileştirmelerin ardından bu puan 3'e düşürülmüştür. Son olarak, çalışma ortamında kaldırma işlemleri için işletmeye önerilerde bulunulmuş ve çalışma pozisyonu için çeşitli iyileştirmeler yapılarak ergonomik risklerin azaltılması sağlanmıştır.

Çalış ve ark. (2021) tarafından belirtildiği gibi zaman geçtikçe ve yeni nesil mamuller ortaya çıktıkça, insanların yaşamındaki ürünler, aletler ve teknolojik cihazlar gibi gereksinimler de çeşitlenmektedir. Bu durum sürekli yeni şeyler üretmeyi, ihtiyaçlara yanıt vermeyi ve aynı zamanda üretilen ürünlerden fiziksel olarak memnuniyet sağlamayı gerektiriyor. Bu tür değişiklikler dikkate alındığında, gerekli alanlardan birinin Ergonomi olduğu görülmektedir. Ergonomi, çalışma alanlarının, iş yerlerinin ve kullanılan makinelerin, insanların fiziksel ve psikolojik sınırlarına uygun şekilde tasarlanmasını insan ölçümleri çerçevesinde gerçekleştirildiği ifade edilmiştir. Tamamlanan araştırmada, Türkiye'deki güncel durumu ortaya koymayı, üniversitelerde insan ölçümleri konusunda farkındalık oluşturmanın sağlayabileceği faydaları göstermeyi ve bu bilgilerin kullanılabileceği alanlar hakkında önerilerde bulunmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında kullandıkları ölçümler üniversite kampüsünde 18-65 yaş arasında yer alan toplam 1.009 öğrenci, idari ve akademik personel üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktalarının belirlenebilmesi için ayakta postur türüne uygun fotoğraflar çekilmiş ve bu veriler dijital ortama aktarılmıştır. Ardından AutoCAD programı kullanılarak ölçümlenirken her birey için 16+2 (tanımlayıcı veri) seti elde edilmiştir. Antropometrik ölçümlerin çalışmanın hedefleri doğrultusunda yorumlanabilmesi için SPSS istatistik programı kullanılmıştır. Elde edilen bulgular incelendiğinde, kadın ve erkeklerin beden ölçülerinin farklı olduğu, aynı cinsiyet grupları içerisinde bile yaşa bağlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir.

Kielesińska, (2021) Perakende sektörünün alt birimlerinde yer alan küçük marketlerde çalışan bir satış elemanı olmanın, sosyal olarak yüksek bir prestiji olmayan bir iş olduğunu belirtmektedir. Bunun başlıca sebepleri arasında, düşük beklentiler, düşük ücretler ve zorlu çalışma şartları yer almakta olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, mevcut kaynaklarda bu mesleğin iş güvenliği ve riskleri açısından gereken önemin verilmediği görülmektedir. Öte yandan, satış elemanı olarak çalışma koşullarının durumu pek çok insanı etkileyen önemli bir husus olduğuna

değinilmiştir. Çalışmasında, ergonomik analiz yöntemlerini tanıtarak ve bunları satış elemanının çalışma ortamında karşılaştığı mesleki riskleri değerlendirmek için kullanarak bu karmaşık konuyu incelemektedir. Ergonomik Kontrol Noktası Listesi'nin sonuçlarının yanı sıra, yapılan anketlerin bulguları da aktarılmaktadır. Tüm elde ettiği bulguların, satış elemanı pozisyonundaki tehlikelerin doğru bir biçimde tespit edilmesi ve ortaya çıkma ihtimali ile bağlantılı olduğunu ifade etmiştir.

İmamoğlu ve Esi (2024), çalışmaları kapsamında tekstil sektörünün ülkemizde genel istihdam ve ihracata önemli bir katkıda bulunduğuna değinmişlerdir. Bununla birlikte, bu sektörde emeklerinin yoğun bir üretim yapısına sahip olduğu birçok işin manuel olarak ve tekrarlayan hareketlerle gerçekleştirildiği ifade edilmiştir. Tekstil üretiminde vardiyalı çalışma düzeni ve uzun çalışma süreleri sebebiyle, çalışanlarda ergonomik açıdan uygun olmayan duruşlar ve tekrarlayan hareketlerden kaynaklanan kas-iskelet sistemi sorunları ortaya çıkmaktadır. İhmal edilen ve tedavi edilmeyen kas-iskelet rahatsızlıkları, uzun süreli olarak çalışanlar için daha büyük sorunlar oluşturabilmektedir. Araştırmalarında, bir tekstil fabrikasının dokuma bölümünde çalışan işçilerin duruşları üzerine Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme Yöntemi (REBA) kullanılarak ergonomik risk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, çalışanların karşı karşıya olduğu olası risk faktörleri ile ergonomik zorlanma düzeyleri tespit edilmiştir. Araştırmanın sonuçları, çalışanların yüksek risk altında olduğunu ve acil müdahaleye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Ayrıca, bazı önlemler alındığında kas-iskelet sistemi hastalıklarının ve işletmedeki verim kaybının önlenmesi için önerilerde bulunulmuştur (Yalçin ve Ayvaz, 2018).

Cincinnati (2015), Toptan ve perakende ticaret alanında görev yapan çalışanlar, kayma, takılma ve düşme yaralanmaları açısından yüksek bir riskle karşı karşıya olduğunu ifade etmiştir. Kaymalar, takılmalar ve düşmeler, sanayi genelinde iş günlerini kaybetmenin en yaygın ikinci sebebi olduğu ve sırt yaralanmaları, burkulmalar, incinmeler, morluklar, kırıklar, ciddi kafa yaralanmaları, felç ve ölüm gibi sonuçlar doğurabileceğine değinilmiştir. NIOSH, bu tür kazaları önlemek için gerekli risk faktörlerini ve izlenecek yolları içeren basit çözümler adını verdiği bir yayın çıkarmıştır (Perakendeciler için Ergonomik Çözümler). Yeni yayımlanan bu broşür, perakende sektörü çalışanları ve güvenlik uzmanları için hazırlanmıştır. Perakende bakkal işlerinde manuel malzeme taşıma ile ilgili yaralanmaları azaltmak için mekanik destek araçlarının kullanımını öne çıkarmaktadır. Broşür kapsamında hazırlanan görseller (ki bu çalışmada da öneriler kısmında kullanılmış olup) bir perakende bakkalında çalışanların malzeme taşıma görevlerini yerine getirirken mekanik destek araçları kullandığını göstermektedir. Tanıtılan teknoloji, kısa süre içinde ve genellikle daha az sayıda çalışanla büyük miktarlarda mal(zeme) taşıma ihtiyacına sahip perakendecilerin artan çevrimiçi satışlarını da destekleyecektir. Toptan ve perakende ticarette karşılaşılan sorunlar kapsamında 1,6 milyon işyeri ile 21 milyon çalışan için ortaya çıkan sorunlardan bazılarının; (1) uzun çalışma süreleri, (2) vardiyalı sistemle çalışma ve (3) doğrudan veya tele pazarlama yolu ile halka hizmet etmenin getirdiği iş stresi şeklinde ele almıştır. İşyeri şiddetini artırabilecek psikososyal sorunlar gitgide yaygınlaşmaktadır. Hazırlanan çalışmada kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının çalışanlar için halen büyük bir sıkıntı kaynağı olduğu vurgulanmıştır.

Çalışmada ulusal düzeyde mevzuat ve standartlar öncülük ettiği görülmektedir. 6311 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik

Önlemlerine İlişkin Yönetmeliği, Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği ve Ekranlı Araçlarla Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Yönetmeliği esas alınmaktadır (ÇSGB, 2012; ÇSGB, 2013)

ÇALIŞMANIN AMACI

Bu araştırmanın amacı, uluslararası düzeyde perakende sektöründe çalışanların maruz kaldığı ergonomik risklere odaklanmak ve bu risklere çözüm yolları sunmaktır. Literatür incelemesi sonucunda, kısmi bir şekilde ele alınan ergonomik riskleri görselleştirerek hem akademik hem de saha çalışmaları için rehber niteliğinde bir belgenin hazırlaması hedeflenmiştir. Perakende sektörü, iş gücünün büyük kısmının uzun süre ayakta kalma, tekrar eden görevler, malzeme taşıma, raf dizme ve kasa işlemleri gibi yüksek düzeyde ergonomik baskı içeren işlerin sıklıkla yapıldığı önemli bir iş sektörüdür. Kısaca bu çalışma, perakende çalışanlarının maruz kaldığı ergonomik riskleri bilimsel bir bakış açısıyla incelemeyi, kas-iskelet sistemi üzerindeki yüklenme düzeylerini değerlendirmeyi ve iş süreçlerini iyileştirici ergonomik müdahaleler geliştirmeyi amaçlamaktadır.

MATERYAL METOT / YÖNTEM

Bu derleme büyük ölçüde sistematik literatür taramalarına dayanıyor ve İSG profesyonelleri, akademisyen ile öğrencilerin yararlanabilmesi için bir başlangıç noktası oluşturuyor. Tüm paydaşlar için farklı düzeylerde iş sağlığı hizmetlerinde ergonomik uygulamalar hakkında daha iyi erişimin sağlanması için nitel araştırma metodu kullanılmıştır. Böylece tüm hususlar ele alınmasa bile temel düzeyde ve spesifik çalışmalar çerçevesinde doğru ergonomik uygulamalara yer verilmeye çalışılmıştır.

Pazar yerlerinde el ile malzeme taşıma işlemi genelde dört aşamadan meydana gelmektedir:

- **a)** Ürünlerin taşıma araçlarından indirilmesi,
- **b)** Ürünlerin depo alanına taşınması,
- **c)** Depodaki ürünlerin satış alanına geçirilmesi,
- **d)** Ürünlerin raflara yerleştirilmesi.

Bu aşamaların her birinin kendine has ergonomik riskleri vardır ve hatalı çalışma pozisyonları ile aşırı yüklenme, iş kazası ve meslek hastalığı olasılığını artırmaktadır. Bu risklerin ortadan kaldırılması ve sektördeki çalışanların bilinçlendirilmesi amacıyla Ek-1'de yer alan bir tablo hazırlanmıştır. Doğru uygulamaların tüm paydaşlar tarafından belli bir düzeyde faydalanabilmesi için çalışmaya görsel boyut eklenmeye çalışılmıştır. Görselleştirilen konular, tabloda belirtilen şekilde değerlendirilmiştir. Literatür incelemesi hem ulusal hem de uluslararası kaynaklarla yapılmıştır. Manuel malzeme taşımanın yol açabileceği yaralanmaları önlemek için mekanik yardımcı ekipmanların kullanılması, önemli bir ergonomik önlem olarak değerlendirilmektedir. Motorlu transpaletler ve palet istifleme makineleri, kaldırma ve taşıma güçlerini azaltarak işçilerin üzerindeki fiziksel yükü hafifletmektedir. Yükseklik ayarı yapılabilen konveyör sistemleri, aşırı eğilme ve uzanma hareketlerini azaltarak işlemlerin daha az sayıda çalışanla gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, yaylı platformları olan el arabaları ve taşıyıcılar, yükü bel seviyesinde tutarak, eğilmeyle ilgili zorlanmaları azaltmaktadır. Vakumla kaldırma sistemleri, özellikle büyük ve dengesiz yüklerin

taşınmasında, tekrarlanan kaldırma hareketlerinden kaynaklanan kas-iskelet sistemi üzerindeki yüklenmeyi önemli ölçüde düşürmektedir.

BULGULAR

Çalışma sonuçları, en büyük ergonomik tehditlerin kasa alanındaki statik ve dinamik duruş yüklerinin, raf düzenleme esnasında gerçekleştirilen yanlış eğilme-bükülme ve kaldırma hareketlerinin, ağır ürünleri taşırken kullanılan uygunsuz kavrama yöntemlerinin ve vardiya sürelerinin ergonomik açıdan yetersiz bir şekilde planlanmasının neden olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle bel bölgesinde kompresif yüklerin artışı, üst ekstremite kas gruplarında tekrarlayan zorlanmalar ve ayağın bileği ile diz eklemlerinde statik pozisyonlardan kaynaklanan dolaşım sorunları ana risk unsurları olarak belirlenmiştir. Ayrıca, iş yoğunluğu nedeniyle yaşanan zaman baskısının, çalışanların mikro-mola sürelerinin kısalmasına sebep olduğu ve bunun sonucunda kas iskelet sistemi hastalıklarının ilerlemesini hızlandırdığı tespit edilmiştir. Ulusal ve uluslararası literatür taraması çerçevesinde perakende alanındaki ergonomik riskler ve iyileştirme yöntemleri hakkında aşağıdaki unsurlar üzerinde durulabilir. Fiziksel riskler kapsamında uzun süre ayakta durmanın (kas yorgunluğu, dolaşım sorunları, ayak ve bel ağrıları vb.), tekrarlayan hareketlerin (kas-iskelet sistemi bozuklukları, karpal tünel sendromu vb.), ağır kaldırma ve taşıma işlemlerinin (sırt, bel ve omuz yaralanmaları vb.) ve eğilme ile uzanmanın (eklem ve kas zorlanmaları vb.) sonuçları ortaya konmuştur. Çevresel riskler açısından ise; kötü aydınlatma, yetersiz havalandırma, gürültü ve uygunsuz sıcaklık koşulları gibi durumlar değerlendirilebilir. Perakende sektöründe ergonomik risk yönetimi hem çalışanların sağlığını koruma hem de iş verimliliğini artırma bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu derleme çalışmasında elde edilen bulgular ışığında, geniş kapsamlı bir ergonomik programa geçilmesi durumunda çalışan memnuniyetinin artacağı ve iş kazaları ile meslek hastalıklarının neden olacağı maliyetlerin azalacağı gibi sonuçlara ulaşılmıştır. Ayrıca, Toptan ve Perakende Ticaret Programı kapsamında, toptan ve perakende sektöründe çalışanların hastalıklarını, yaralanmalarını ve ölümlerini önlemeye yönelik çalışma yapmaktadır. Bu program, iş birlikleri ve araştırmalar yoluyla, ekonomik ve sosyal açıdan dışlanmış işçilerin yaşadığı yaralanma ve hastalıklarla başa çıkmayı hedeflemektedir (Yıldız, 2017; Yiğiter, 2020; Yalçin ve Ayvaz, 2018; URL 2, 2025),

TARTIŞMA

Literatürde yer alan çalışmalara göre, ergonomik araçların ve uygun çalışma yöntemlerinin kullanılması, kas-iskelet sistemi problemlerinin azalmasını ve iş gücü verimliliğinin artışını sağlamaktadır. Perakende alanında ergonomik yaklaşımların uygulanması, sadece iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemeye yardım etmekle kalmaz, aynı zamanda operasyonel verimliliği de artıracağı düşünülmektedir. Ancak, ergonomik ekipmanların etkili bir şekilde kullanılabilmesi için çalışanların bu ekipmanlarla ilgili eğitim alması ve güvenli bir kullanım alışkanlığının geliştirilmesi şarttır. Bu sebeple, ergonomik müdahalelerin eğitim ve yönetimsel önlemlerle desteklenmesi zorunludur (NIOSH, 2014; URL 1, 2025).

İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (OSHA) verilerini kullanarak, 2015-2019 döneminde ahşap sektöründe forkliftler ve palet kaldırma makinelerinden kaynaklanan ciddi yaralanmaları araştırmıştır. OSHA, işverenlerin uzuv kaybı, hastane yatışı veya göz kaybı gibi ağır iş

kazalarını bildirmelerini zorunlu kılar. Yapılan çalışmanın aslında proaktif değil, reaktif bir tedbir çalışması olduğu söylenebilir. Bu sorunların yaşanmaması için görsellerin incelendiği belirtilmiştir. Proaktif çalışmalar kapsamında, sektördeki cihaz ve makinelerin kullanım kılavuzlarında görsellerin zorunlu hale getirilmesi veya eğitimlerde uygulamalı çalışmaların yapılması önerilmektedir (OSHA, 2004).

Elde edilen sonuçlar, en yüksek ergonomik risk skorlarının, operatörlerin uzun süre statik pozisyonlarda oturuşu veya ayağa kalkması, hareket alanının kısıtlı olması ve tekrarlayan üst ekstremite hareketleri gibi etkenler yüzünden kaynaklandığını göstermektedir. Raf yerleştirme sırasında çalışanların sürekli olarak uygunsuz bel hareketleri, omuz seviyesinin üstünde çalışmak ve dengesiz yük taşıma gibi riskli pozisyonlar aldığı belirlenmiştir. Ayrıca, NIOSH analizleri, ağır ve hacimce büyük ürünlerin elle taşınmasında önerilen limitlerin sık sık aşıldığını ortaya koymaktadır. Uzun çalışma süreleri, zaman baskısı ve yetersiz mikro mola uygulamaları, çalışanlarda kas yorgunluğunu artırarak ergonomik riskleri yükseltmektedir. Biyomekanik değerlendirmeler, bel ve sırt bölgelerinde kompresif yüklerin tehlikeli seviyelere yaklaşmakta olduğunu, omuz-abduksiyon hareketlerinde kas aktivasyonunun sınırları zorladığını ve el-bilek bölgesinde tekrarlayan zorlanmaların kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olduğunu göstermektedir. NIOSH'un toptan ve perakende ticaret alanına dair programı, yaklaşık 19 milyon çalışanın iş kazaları sonucunda yaşadığı ölümcül ve ciddi olmayan yaralanmalar ile hastalıkların engellenmesine odaklanmaktadır. Bu program, NAICS kodları 42 ve 44-45 arasında yer alan tüm iş kollarını kapsamaktadır. Toptan ve perakende ticaret alt sektörü içerisinde, dayanıklı ve dayanaksız ürünlerin toptancıları, inşaat malzemeleri ve bahçe ekipmanları satan mağazalar, gıda ve içecek dükkanları, mobilya ve ev eşyası satış noktaları, genel mağazalar, motorlu taşıtlar ve parçalarının satıldığı bayiler bulunmaktadır (NIOSH, 2014; URL 3, 2025; URL 4, 2025).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmalar neticesinde, perakende sektöründe ergonomik risklerin etkin biçimde azaltılabilmesi için iş istasyonlarının antropometrik veriler dikkate alınarak yeniden tasarlanması, kaldırma-taşıma işlerinde mekanik destek sistemlerinin kullanılması, çalışanlara ergonomi ve doğru kaldırma teknikleri eğitimi verilmesi, vardiya sürelerinin iş yükü analizine göre optimize edilmesi ve periyodik ergonomik ölçümlemelerin işletme rutini içine entegre edilmesi önerilmektedir. Bu çalışma, perakende sektöründe sistematik ergonomik değerlendirmelerin gerekliliğini vurgulamakta ve çalışan sağlığının korunması için bilimsel temelli uygulamaların hayata geçirilmesinin önemine dikkat çekmektedir.

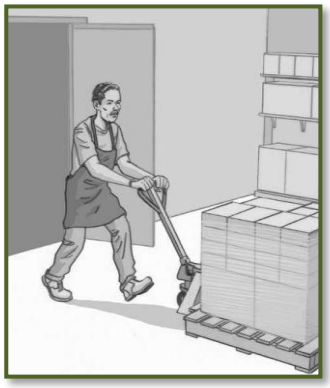
Çalışma sonuçları, perakende sektöründe ergonomik müdahalelerin sadece ekipman temelli değil, aynı zamanda organizasyonel ve davranışsal düzeylerde de ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu doğrultuda iş istasyonlarının antropometrik veriler doğrultusunda yeniden tasarlanması, yüksek raflara erişim için mekanik destek araçlarının yaygınlaştırılması, kas-iskelet yükünü azaltan otomasyon uygulamalarının artırılması, çalışanlara düzenli ergonomi farkındalık eğitimleri verilmesi ve vardiya planlamasının iş yükü analizlerine göre optimize edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, düzenli ergonomik izleme programlarının oluşturulması ve kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının erken tespiti için periyodik sağlık gözetimi

uygulamalarının güçlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışma, perakende sektöründe ergonomi temelli risk yönetiminin sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği performansı için kritik olduğunu vurgulamakta ve literatüre sektörün gerçek çalışma koşullarına ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır.

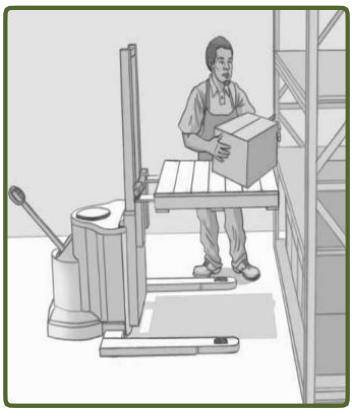
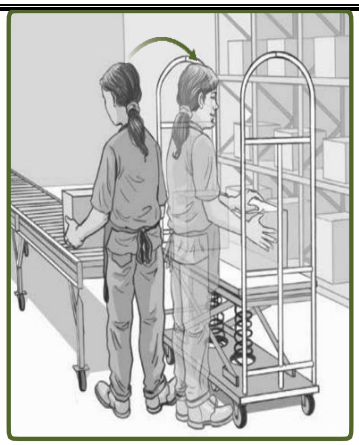
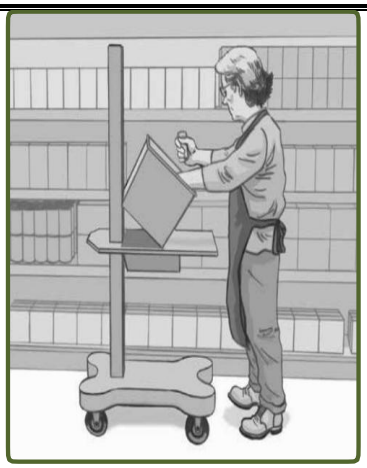
Perakende sektöründe elle malzeme taşıma işlemlerine bağlı yaralanmaların önlenmesi için ergonomik çözümler etkili ve sürdürülebilir bir yol sunmaktadır. Mekanik yardımcı aletlerin yaygınlaştırılması, ergonomik risklerin düzenli bir şekilde değerlendirilmesi ve çalışanların ergonomi konusunda eğitilmesi tavsiye edilmektedir. Gelecek çalışmalarında, ergonomik uygulamaların uzun vadeli sağlık ve ekonomik etkilerinin nicel verilerle incelenmesi yararlı olabilir. Ergonomik iyileştirme uygulamalarında çalışma alanı düzenlemeleri için anti-yorgunluk paspasları, Ayakta çalışanlar için ayarlanabilir tezgahlar ve raflar, Farklı boyuttaki çalışanlara uyum sağlamak için uygun sandalye ve dinlenme alanları ile kısa molalar, çalışma alanı için ergonomik ekipmanlar, sepetler, arabalar, taşıma ekipmanları tavsiye edilmektedir. İş Organizasyonu çerçevesinde ise; görev rotasyonu (tekrarlayan hareketlerin önlenmesi için, Düzenli molalar (kas yorgunluğunun azaltılması için), İş yükü dengelenmesi (aşırı fiziksel zorlanmanın önlenmesi için) gibi hususlarda çalışmaların yapılması önerilir. Eğitim ve Farkındalık Programları kapsamında ise; doğru duruş ve hareket teknikleri eğitimi, Ağır kaldırma ve taşıma eğitimleri, Ergonomik risk farkındalığı oluşturma ve Erken uyarı işaretlerini tanıma önerileri önem arz etmektedir. Ergonomik risklerin önleme stratejileri çerçevesinde üç önlemden bahsedebiliriz. Birincil Önlemler kapsamında işyeri tasarımında ergonomik prensiplerin uygulanması, uygun ekipman seçimi ve bakımı ele alınmalıdır. İkincil Önlemlerde ise düzenli sağlık taramaları ile erken müdahale programları ele alınmalıdır. Üçüncül Önlemler kapsamında ise; rehabilitasyon programları ile işe dönüş süreçlerinin yönetimi değerlendirilmelidir. Başarılı uygulamalar için aşağıda yer alan bazı hususlar önerilmektedir.

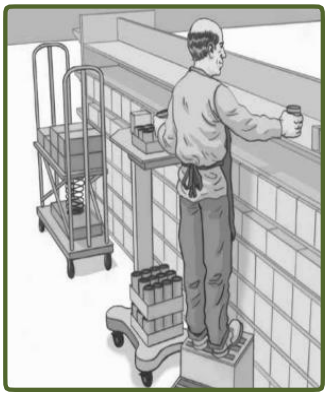
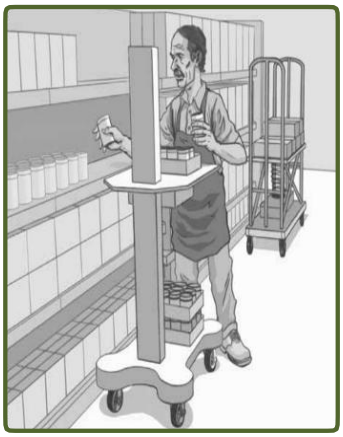
- Ayarlanabilir kasiyer istasyonları ile farklı boyutlardaki çalışanlara uyum
- Taşıma arabalarında ergonomik tutma yerleri
- Dinamik çalışma pozisyonlarına olanak sağlayan tezgâh tasarımları
- Düzenli molalar ve germe egzersizleri programları
- Ergonomik risk değerlendirmelerinin düzenli yapılması
- Çalışan geri bildirim mekanizmalarının oluşturulması
- İş kazası ve meslek hastalığı istatistiklerinin takibi
- İyileştirme planlarının periyodik gözden geçirilmesi

EK-1: Saha ve akademik çalışmalarda aktif kullanılması önerilen bazı görseller (NIOSH, 2014; Cincinnati, 2015; URL 1, 2025; URL 2, 2025; URL 3, 2025)

S.N.	ÖNERİLEN İLGİLİ GÖRSEL	TAVSİYE METNİ
1)		Görsel 1'de, büyük boyutlu malzeme torbalarını düz arabalara veya paletlere taşımak için üstten vakumlu kaldırma veya hava vinci kullanan bir işçi yer almaktadır. Vakumlu kaldırma aleti, dengesiz malzemelerin kaldırılması ve taşınması sırasında oluşan yorucu stresi azaltabilir. En önemli faydası, kaldırma işleminin boyut veya güçten bağımsız olarak hemen hemen her çalışan tarafından daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ve bu sayede verimliliğin artması yönünde çalışmalar yapılması önerilmektedir.
2)		Görsel 2'de bir çalışanın manuel palet kaldırma aletini, depo alanını satış alanından ayıran kapılardan ittiği gözlemleniyor. Palet kaldırma araçları ya da kamyonlar, paletleri kaldırıp taşımak amacıyla geliştirilmiştir. Paletler büyük hacimde malzeme taşıyabilmesi nedeniyle depo ile satış noktası arasındaki sefer sayısını azaltabilir; ancak, bu durum çevresindekiler için bir takılma riski oluşturabilir ve müşteri ile çalışanların ürünlere ulaşımını zorlaştırabilir. Bu yüzden paletlerin taşınması ve istiflenmesi için önlemler alınması önerilir.
3)		Görsel 3'te, bir çalışanın konveyörden kutuları alarak iki tekerlekli ve ayarlanabilir bir el arabasına yerleştirdiği görülmektedir. Bu tür el arabaları genellikle gıda, içecek ve benzeri ağırlıklardaki kapların taşınmasında kullanılır. Ayarlanabilir el arabaları, zaman tasarrufu sağlamanın yanı sıra, yükü bel hizasında tutarak eğilme ihtiyacını azaltma olanağı tanır. Çoğu ayarlanabilir el arabası, yay veya dengeleyici bir mekanizma ile çalışmaktadır. Bu sebeple, perakende sektöründe bu tür ekipmanların tercih edilmesi önerilmektedir.
4)		Görsel 4'te, bir çalışan elektrikli palet istifleyici ile dolu bir paleti kaldırıyor. Dolu palet, yükseklik ayarı yapılabilen bir palet yükleme masasında bulunmaktadır. Buradaki amaç, dolu paleti satış alanına göndermek ya da yoğun bir çalışma alanından uzak bir depolama bölgesine taşımaktır. Palet istifleyici, dolu paleti daha sonra kolaylıkla almak için bir rafa yerleştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Böylece çalışanlar ağır yükleri makineler aracılığıyla zahmetsizce taşıyabilirler. Bu tür palet istifleyicilerin, sektörlerin ihtiyaçlarına ve türlerine göre artırılması önerilmektedir.

5)		Görsel 5, bir çalışanın palet üzerindeki kutuları elektrikle ayarlanabilen bir el arabasına boşalttığını göstermektedir. Palet, bel seviyesine uygun bir şekilde ayarlanabilen, dönebilme ve ayarlanabilirlik özelliklerine sahip bir taban üzerinde yer almaktadır. Döner taban, paletin üzerinden uzanmaya veya etrafında dolaşmaya gerek kalmadan hareket etmeyi kolaylaştırır ve böylece fiziksel zorlukları azaltır. Bu sayede ergonomik tehlikeler de en aza indirilmektedir. Bu tür araçların sektör genelinde yaygınlaştırılması ve teknik desteklerin artırılması önerilmektedir.
6)		Görsel 6'da, yer alan depolama raflarına malzeme boşaltan bir çalışan, yaylı bir platform ile donatılmış düz bir araba kullanarak gösterilmektedir. Bu cihazın temel amacı, düz arabanın alt kısmında ya da çevresinde bulunan malzemeleri yüklerken veya boşaltırken aşırı eğilmeyi azaltmaktır. En iyi uygulamalara göre, daha hafif ürünlerin alt raflara konulması önerilmemektedir. Alt raflara malzeme yerleştirmek için diz çökülmesi gerekiyorsa, dizlik kullanmak da bir alternatif olabilir. Bununla birlikte, bu tür teknolojik ekipmanın kullanımı ve yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir.
7)		Görsel 7'de, ekipman yardımı olmadan taşınması yapılması imkânsız paletlerin, kaldırma ve indirme işlevine sahip bir transpalet desteği ile taşınması gösterilmiştir. Bu ekipmanların tekil olarak artırılması ve çalışanların eğitim alarak sertifikalandırılması önerilmektedir. Sertifikalandırma sürecinde her çalışana kontrol ve bakım görevleri hakkında bilgi verilmelidir.
8)		Görsel 8'de bir personelin kutuları konveyör üzerinde yerleştirme işlemi gösterilmektedir. Bu işlemin artıları ergonomik açıdan incelendiğinde, taşınma ya da iletilme sürecinin çalışan yerine konveyör sistemi tarafından sağlanmasının avantajı söz konusu olabilir. Bu tip sistemlerin endüstriler bağlamında değerlendirilmesi önerilir. Konveyör sistemleri, eşyaları bir noktadan başka bir noktaya taşıyan, özellikle üretim tesislerinde yaygın olarak tercih edilen mekanik taşıma sistemleridir. Bu konveyörler, özellikle ağır veya büyük maddelerin taşınması gereken durumlarda oldukça etkili bir şekilde çalışırlar.

9)		Görsel 9'da bir çalışanın stok arabası ile bir kutudan küçük ürünleri raflara yerleştirdiği görülmektedir. Kutuyu eğerek, omuz, kol ve bilekleri etkileyen rahatsız edici pozisyonlar azaltılır, bu da kas yorgunluğunu düşürür ve verimliliği artırır. Bu tür bir stok arabası, özellikle marketlerde sağlık ve güzellik ürünleri gibi küçük ürünlerin depolandığı ve satıldığı alanlarda oldukça faydalıdır. Temel olarak, bir taşıma bandı aracılığıyla ürünlerin ileri geri hareket etmesine olanak tanıyan konveyörler, fabrikalar ve dağıtım merkezlerinden perakende mağazalarına kadar pek çok sektörde sıkça tercih edilmektedir. Bu nedenle, diğer sektörlerde de yaygın olarak kullanılmasının tavsiye edilmesi gerekmektedir.
10)		Görsel 10'da bir çalışanın, paletler dolusu malla kaplı bir konveyör sistemi üzerinde sürüş platformu bulunan elektrikli palet taşıyıcı kullanarak boşalttığı görülüyor. Bu cihaz, malzeme taşıma yaralanmaları riskini azaltırken, yükleme, taşıma ve boşaltma sisteminin yan tarafına çarpma gibi nesneyle temas sonucu yaralanma riskini de artırmaktadır. Operatörün, yüklü paletle yükleme iskelesinin eşiğinden tesisin teslim alma alanına güvenli bir şekilde geçebilmesi için eğitim gereklidir. Konveyör, malzeme veya ürünlerin bir noktadan diğerine taşınmasını sağlayan otomatik sistemler olduğu için ağır yüklerin olduğu tüm sektörlerde aktif kullanılması tavsiye edilir.
11)		Görsel 11'de, bir çalışanın mağaza raflarına ürün yerleştirirken iki elini kullanarak, ürün yerleştirme arabasından faydalandığı ve bu şekilde verimliliğini artırdığı görülmektedir. Bu alet, raflara ürün yerleştirirken gereksiz yere eğilme, tutma ve uzanma eylemlerini azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Tasarımı, rafları daha uygun bir seviyede tutarak aşırı eğilmeyi en aza indirgemek için yukarı ve aşağı hareket edebilmektedir. Böylelikle ergonomik zorlukları azaltılmış oluyor. Bu ekipmanların kaldırma kapasitesi göz önüne alınarak, perakende alanı dışında da farklı sektörlerde kullanımının önerilmesi mümkündür.

12)		Görsel 12'de ayarlanabilir yükseklikte bir konveyör örneği sergilenmektedir. Bu tür bir konveyör sayesinde, bir birey genellikle bir treylerin boşaltılması için iki ya da daha fazla kişinin gerçekleştirdiği işleri tek başına yapabilmektedir. Yüksekliği ayarlanabilir konveyörler ayrıca aşırı eğilmeyi azaltarak kutuların konteynere veya iç kısımlara zarar vermeden konveyörlere yerleştirilmesini sağlar. Treylerin iç kısmının en yüksek seviyeleri 2,3 m ile 2,7 m arasında değiştiğinden, sağlam bir basamak ya da platform kullanılması gereklidir. Bu sistemin yapay zekâ desteğiyle hizmet alanlarında etkin bir şekilde kullanılması önerilmektedir.
13)		Görsel 13'te, bir çalışanın, yaylı platforma sahip U-Boat tipi kamyona, konveyörden kutuları boşaltırken iki farklı şekilde yer aldığı gösterilmektedir. U-Boat platformları genellikle uygun ekipmanla donatılmış kamyon fabrikaları, depolar, yükleme alanları ve uzun paketlerin taşınmasının gerektiği stok ve posta işlemlerinde kullanılır. Bu tür araçlar, dayanıklılık sağlamak ve açık yüzeylerdeki kırılmalara karşı koruma amacıyla toz boyama ya da galvaniz kaplama ile üretilmiş çelik çerçevelere sahiptir. Ayrıca, şok emilimi ve zemin koruması sağlamak için poliüretan eklenebilen farklı uzunluklarda bu araçlar bulunmaktadır. Çalışanın ilk pozisyonda kutuyu tuttuğu görülüyor. İkinci pozisyonda ise ayaklarını ve bedenini uçlu kamyona doğru döndürüyor. Yaylı platformlu U-Boat, konteyner yükleme veya boşaltma esnasında yükü bel seviyesinde tutarak eğilmeyi minimize etmek amacıyla tasarlanmıştır. Dar platform, aşırı uzanmayı azaltmaktadır.

KAYNAKÇA

1) Anderson, V. P. (2014). *Ergonomic solutions for retailers: Prevention of material handling injuries in the grocery sector* (DHHS (NIOSH) Publication No. 2015-100). U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Retrieved from https://stacks.cdc.gov/view/cdc/26048.
2) Anderson, V. P., Schulte, P. A., Sestito, J., Linn, H., & Nguyen, L. S. (2010). Occupational fatalities, injuries, illnesses, and related economic loss in the wholesale and retail trade sector. *American Journal of Industrial Medicine*, *53*(7), 673–685. https://doi.org/10.1002/ajim.20813
3) Aydın, S. (2021). NIOSH ve REBA Yöntemleri Kullanılarak Ergonomik Risk Analizi Vaka Çalışması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 414-433.
4) Bedir, N., Eren T., Dizdar E. N., (2017). Ergonomik Personel Çizelgeleme ve Perakende Sektöründe Bir Uygulama, Journal of Engineering Sciences and Design, 5(3), 657 - 674.
5) Bhattacharya, A., & Leigh, J. (2011). Musculoskeletal disorder costs and medical claim filing in the U.S. retail trade sector. *Industrial Health*, *49*(4), 517–522. https://doi.org/10.2486/indhealth.ms1320
6) OSHA & NIOSH, (2007). *Ergonomic guidelines for manual material handling* (DHHS Publication No. 2007–131). U.S. Department of Health and Human Services.
7) Cincinnati, OH: U.S. (2015). Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Wholesale and Retail Trade Sector Research Program, 2015 Jan; 1(1):1-2.
8) Çalış, S., Çalış, Ç., Koçali, K., Büyükakıncı, B. Y. (2021). 18-65 Yaş Arası Kişilerin Antropometrik Verilerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Alan Araştırması: Yükseköğretim Kurumu Uygulaması. Ergonomi, 4(3), 147-161. https://doi.org/10.33439/ergonomi.962614.
9) Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB), (2012). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK). Resmî Gazete, Sayı: 28339.
10) Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB), (2013). Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği. Resmî Gazete, Sayı: 28717.
11) Ensari Özay, M., Doğanbatır, Ç. Ş., (2018). Perakende Sektöründe bir Süpermarkette REBA, NIOSH ve Snook Tabloları Yöntemlerini Kullanarak Ergonomik Risk Analizi Vaka Çalışması, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(3), 448-459.
12) İmamoğlu, G., & Esi, B. (2024). Ergonomic Risk Analysis of Working Postures for a Textile Factory Worker. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 10(3), 761-770. https://doi.org/10.28979/jarnas.1502292.
13) Kielesińska, A. (2021). "The Use of Ergonomic Analysis Methods as Supprt in the Assessment of Occupational Risk in the Position of a Seller in a Small Grocery Store (Poland)" System Safety: Human - Technical Facility - Environment, vol. 3, no. 1,

Quality and Production Managers Association, , pp. 217-227. https://doi.org/10.2478/czoto-2021-0022

14) Kirci, B. K., Özay, M. E., & Uçan, R. (2020). A Case Study in Ergonomics by Using REBA, RULA and NIOSH Methods: Logistics Warehouse Sector in Turkey. Hittite Journal of Science and Engineering, 7(4), 257-264.

15) Michael, J. & Gorucu, S. (2020). Analysis of Forklift and Pallet Jack Injuries in Wood-Related Industries. Forest Products Journal, 70(4), 403–408. https://doi.org/10.13073/FPJ-D-20-00032

16) NIOSH (2014). Ergonomic solutions for retailers: prevention of material handling injuries in the grocery sector. By Anderson VP. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2015-100.

17) Occupational Safety and Health Administration (OSHA), (2004). *Guidelines for retail grocery stores: Ergonomics for the prevention of musculoskeletal disorders* (OSHA Publication No. 3192). U.S. Department of Labor.

18) OpenAI. (2025). *ChatGPT* (GPT-5.2) [Large language model]. https://www.openai.com

19) URL 1: https://www.cdc.gov/niosh/docs/2007-131/pdfs/2007-131.pdf (E.T.: 16/12/2025)

20) URL 2: https://www.cdc.gov/niosh/docs/2015-100/ (E.T.: 17/12/2025).

21) URL 3: https://www.cdc.gov/niosh/research-programs/portfolio/wrt.html?CDC_AAref_Val=https://www.cdc.gov/niosh/programs/wrt/default.html (E.T.: 17/12/2025).

22) URL 4: https://www-naics-com.translate.goog/search/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=tc (E.T.: 21/12/2025)

23) Yalçin, E., & Ayvaz, B. (2018). İşletmelerde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Ergonomik Risk Ölçümü: Tekstil Sektöründe Bir Uygulama. İ*stanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *17*(34), 13-30.

24) Yıldız, N. (2017). AB ve Türkiye mevzuatında çocuk işgücünün iş sağlığı ve güvenliği. Mülkiye Dergisi, 41(3), 111-145.

25) Yiğiter, S. Ç. (2020). Ön lisans programlarında iş sağlığı ve güvenliği kültürü: Kocaeli Üniversitesi Örneği. *İSG Akademik*, *2*(1), 47-58.

SAĞLIK KURUMLARINDA İSG EĞİTİMLERİ: KAPSAM, MEVZUAT VE UYGULAMA YAKLAŞIMLARI

Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet Aktar
Batman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
ahmetaktarr@gmail.com - https://orcid.org/0009-0002-7541-6871

Dr. Öğretim Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER
Batman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
sureyya.rencber@batman.edu.com - https://orcid.org/0000-0003-2812-7110

ÖZET

Sağlık kurumları; biyolojik, kimyasal, fiziksel, ergonomik ve psikososyal tehlikelerin eş zamanlı bulunduğu, çalışan güvenliği açısından yüksek riskli iş ortamlarıdır. Bu çalışmanın amacı, sağlık kurumlarında iş sağlığı ve güvenliği (İSG) eğitimlerinin kapsamını ve politika etkinliğiyle ilişkisini ulusal/uluslararası düzenlemeler ve güncel literatür doğrultusunda bütüncül biçimde değerlendirmektir. Yöntem olarak ilgili mevzuat, kurumsal uygulamalar ve bilimsel yayınlar derlenmiş; sağlık sektörüne özgü risk başlıkları üzerinden eğitim içerikleri ve uygulama süreçleri analiz edilmiştir. İnceleme, İSG eğitimlerinin ergonomik risklerin yönetimi, biyolojik etkenlere karşı korunma, kimyasallarla güvenli çalışma ve psikososyal risklerin azaltılması gibi temel alanlarda çalışanların risk farkındalığını artırdığını; ancak etkinliğin sürdürülebilirlik, düzenli güncelleme, çalışan katılımı, izleme-değerlendirme ve kurumsal güvenlik kültürü ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Türkiye'de 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu çerçevesinde eğitimlerin zorunlu olması önemli bir politika dayanağı sunmakla birlikte, sağlık çalışanlarının korunmasına yönelik yaklaşımın yalnızca kurum içi uygulamalarla sınırlı kalmayıp ulusal ve küresel düzeyde bütüncül stratejilerle desteklenmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, İSG eğitimlerinin gereksinim temelli biçimde geliştirilmesi, periyodik olarak güncellenmesi ve katılımcı uygulama modelleriyle güçlendirilmesi, mesleki risklerin azaltılması ve hizmet kalitesinin artırılması açısından kritik önemdedir.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği; hizmet içi eğitim; sağlık çalışanları; mesleki riskler.

1. GİRİŞ

İş kazaları ve meslek hastalıkları, çalışma yaşamının en önemli önlenebilir sorunları arasında yer almakta; çalışan sağlığının korunması ve güvenli çalışma koşullarının sürdürülmesi açısından çok boyutlu müdahaleleri gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, çalışanlara verilen iş sağlığı ve güvenliği (İSG) eğitimleri, iş kazalarının azaltılmasında temel bir gereklilik hâline gelmiş; eğitimlerin yaygınlaşması kazaların önlenmesine yönelik düzenleyici çerçevenin gelişimini de desteklemiştir (Güneysulu, 2023). Özellikle işyerinde risklerin tanınması, doğru davranışların benimsenmesi ve önleyici yaklaşımın kurumsallaşması, eğitimlerin sürdürülebilir ve planlı biçimde yürütülmesiyle yakından ilişkilidir.

Teknolojik ilerlemeler, İSG eğitimlerinin yöntem ve araçlarını çeşitlendirerek çalışanların farklı risk türlerine yönelik bilgi ve becerilerini geliştirmeyi kolaylaştırmıştır (Güneysulu, 2023). Günümüzde eğitim süreçlerinin yalnızca bilgilendirme ile sınırlı kalmayıp davranış değişikliğini hedeflemesi, iş kazaları ile meslek hastalıklarının önlenmesinde eğitimlerin işlevini daha da kritik hâle getirmektedir (İşler, 2013; Güneysulu, 2023). Nitekim kazaların önemli bir bölümünün bilgi eksikliği, risk algısının yetersizliği veya güvenli olmayan davranış örüntülerinden kaynaklanabildiği göz önüne alındığında, eğitim gereksinimlerinin sistematik biçimde belirlenmesi ve periyodik eğitimlerin uygulanması, mesleki riskleri azaltmada etkili bir önleyici yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

İSG eğitimleri, çalışanların sağlık ve güvenlik risklerinden korunmasını desteklemenin yanı sıra, işyerinde güvenlik kültürünün gelişimine de katkı sağlar. Uluslararası yaklaşımlar; İSG bilincinin erken dönemlerden itibaren yaygınlaştırılmasını, işyerlerinde eğitim düzeyinin artırılmasını ve nitelikli uzman insan gücünün yetiştirilmesini özellikle vurgulamaktadır. Bu çerçevede eğitim düzeyinin yükselmesi ve işgücünün niteliğinin artması, iş kazalarının azalmasıyla ilişkili bir çıktı olarak değerlendirilmektedir. Eğitimler, çalışanların riskleri tanıma, değerlendirme ve uygun önlemleri alma kapasitesini güçlendirerek İSG yönetimine bütüncül bir katkı sunar (Güneysulu, 2023).

Sağlık kurumları ise biyolojik, kimyasal, fiziksel, ergonomik ve psikososyal risklerin aynı anda bulunabildiği; çalışan maruziyetinin ve hizmet sürekliliğinin kritik önem taşıdığı çalışma ortamlarıdır. Bu nedenle sağlık kurumlarında İSG eğitimlerinin kapsamı, mevzuatla uyumu ve uygulamadaki işleyişi özel olarak ele alınmalıdır. Bu çalışma, sağlık kurumlarında İSG eğitimlerini "kapsam–mevzuat–uygulama" ekseninde değerlendirerek, eğitim süreçlerinin nasıl yapılandırılabileceğine ve uygulamada etkililiği artırabilecek yaklaşımlara ilişkin bütüncül bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır

1.1. Sağlık Sektörünün Risk Profili

Sağlık sektörü, farklı risk etmenlerinin aynı anda bulunduğu ve çalışanlar açısından yüksek tehlike içeren çalışma alanları arasında yer almaktadır. Hastaneler; ileri teknolojik cihazların yoğun biçimde kullanıldığı, farklı meslek gruplarının eş zamanlı hizmet sunduğu ve

teknik/teknolojik, bakteriyel, fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal nitelikte çok sayıda risk unsurunu barındıran kompleks kurumlar olarak tanımlanmaktadır (Öztürk vd., 2012). Nitekim sağlık işletmelerinin yer aldığı sektör, "İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Tehlike Sınıfları Tebliği" kapsamında en riskli işyeri grupları içerisinde değerlendirilmektedir (Sunar ve Çınar, 2017). Bu sınıflandırma, sağlık çalışanlarının çalışma yaşamı boyunca fiziksel, kimyasal, biyolojik ve psikososyal pek çok tehlikeye maruz kalabildiğini göstermektedir. Sağlık kurumlarında fiziksel riskler; aydınlatma, ısıtma, havalandırma koşulları, gürültü düzeyi ve radyoaktif alanlarla ilişkili çevresel faktörleri kapsamaktadır (Birgören, 2017). Kimyasal riskler ise sterilizanlar, deterjanlar, anestezik gazlar, dezenfektanlar, ilaçlar ve çeşitli kimyasal sterilizasyon ajanlarına maruziyet sonucu ortaya çıkabilmektedir (Yıldırım ve Gerdan, 2017). Biyolojik risklerin temelinde, enfeksiyon, alerji veya zehirlenmeye yol açabilen mikroorganizmalar ile insan endoparazitleri yer almaktadır (Avrupa Konseyi, 2000). Psikososyal riskler ise sağlık çalışanlarının artan biçimde şiddet, saldırı, taciz, tehdit, zarar verme ve mobbing gibi olumsuz davranışlara maruz kalmasıyla belirginleşmektedir (Yıldırım ve Gerdan, 2017). Sonuç olarak, sağlık sektörünün çok boyutlu risk yapısı, bu alanı diğer sektörlere kıyasla daha hassas bir çalışma ortamı hâline getirmekte; çalışanların korunmasına yönelik önleyici uygulamaların ve sistematik İSG yaklaşımlarının önemini artırmaktadır.

1.2.1. Fiziksel Riskler

Sağlık sektöründe fiziksel riskler, çalışma ortamının yapısal özellikleri ve kullanılan teknolojik donanımın niteliğiyle ilişkili olarak geniş bir tehlike yelpazesini kapsamaktadır (Birgören, 2017). Hastanelerde bu riskler; aydınlatma, ısıtma ve havalandırma koşulları, temizlik süreçlerinde kullanılan ekipman ve materyaller, gürültü düzeyi ile radyoaktif alanlara maruziyet gibi çok sayıda unsur üzerinden ortaya çıkmaktadır (Birgören, 2017). Gürültü, hem yapısal hem de operasyonel kaynaklardan doğmakta; merkezi havalandırma sistemleri, kapı–pencere düzeni, ısıtma-soğutma cihazları ve çeşitli medikal ekipmanlar gürültü yükünü artırarak çalışanların fiziksel ve psikolojik iyilik hâlini olumsuz etkileyebilmektedir (Altundere, 2023). Dünya Sağlık Örgütü, hastane ortamında gürültünün belirli eşikleri aşmamasını önermekte; çalışan sağlığının korunması için sabah saatlerinde 35 dB(A), akşam saatlerinde ise 30 dB(A) sınırlarına dikkat çekmektedir (Krueger ve ark., 2007). Fiziksel risklerin bir diğer önemli bileşeni olan iyonizan radyasyon ise özellikle radyoloji, nükleer tıp, onkoloji ve anjiyografi birimlerinde çalışanlar açısından belirgin bir tehlike oluşturmaktadır (Solmaz ve Solmaz, 2017). Bu birimlerde maruziyetin etkin biçimde kontrolü için ışınım alanlarının uygun şekilde sınıflandırılması, kişisel dozimetre kullanımının yaygınlaştırılması ve maruziyet düzeylerinin düzenli izlenmesi gerekmektedir (Solmaz ve Solmaz, 2017). Sonuç olarak, hastane ortamındaki fiziksel risk etmenlerinin sistematik biçimde yönetilmesi, sağlık çalışanlarının mesleki güvenliğinin sağlanmasında kritik bir öncelik olarak değerlendirilmektedir.

1.2.2. Biyolojik Riskler

Sağlık sektöründe biyolojik riskler, çalışanların enfeksiyon etkeni olabilen mikroorganizmalara ve bu etkenlerin farklı bulaş yollarına maruz kalmasıyla ortaya çıkmaktadır (Yıldırım ve Gerdan, 2017). 28678 sayılı Yönetmelik'te biyolojik etkenler; enfeksiyon, alerji veya zehirlenmeye neden olabilen mikroorganizmalar, hücre kültürleri ve endoparazitler olarak tanımlanmaktadır (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013a). Hastane ortamında çalışanlar, özellikle kan ve vücut sıvılarıyla temas yoluyla hepatit B, hepatit C, HIV ve Brucella gibi patojenlere maruziyet açısından yüksek risk altındadır (Özgüler vd., 2016). Bunun yanı

sıra, solunum yoluyla bulaşan enfeksiyonlar hem çalışan sağlığını hem de iş gücü sürekliliğini olumsuz etkileyen önemli bir risk alanı oluşturmakta; çevresel kaynaklardan hastane ortamına taşınabilen etkenler uygun koşullarda hızla yayılım gösterebilmektedir (Salman ve Karahan, 2014). Özellikle dental uygulamalarda işlem sırasında oluşan aerosoller, mesleki solunum yolu enfeksiyonları açısından dikkate değer bir maruziyet kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Corrao ve ark., 2012). Bu nedenle sağlık kurumlarında biyolojik risklerin azaltılmasında temel enfeksiyon kontrol önlemlerinin eksiksiz uygulanması; riskin ortadan kaldırılamadığı durumlarda ise uygun kişisel koruyucu donanım kullanımının sağlanması gerekmektedir (Altundere, 2023).

1.2.3. Kimyasal Riskler

Sağlık sektöründe kimyasal riskler, çalışanların hizmet sunumu sırasında çeşitli kimyasal maddelere maruz kalmasıyla ortaya çıkan önemli bir tehlike grubunu oluşturmaktadır. Sağlık çalışanları günlük uygulamalarda kimyasal sterilizanlar, dezenfektanlar, anestezik gazlar, deterjanlar ve ilaçlar gibi çok sayıda maddeyle temas hâlindedir (Akgün, 2015). Bu maddelere maruziyet, deri irritasyonu/dermatit ve işe bağlı astım gibi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Akgün, 2015). Özellikle laboratuvar ortamlarında kullanılan uçucu organik solventler, boyalar, asitler ve alkaliler; alerjik reaksiyonlardan uzun dönemde daha ağır sağlık etkilerine kadar uzanan sonuçlar doğurabilen kimyasal tehlikeler arasında değerlendirilmektedir (Akgün, 2015).

Bunun yanında antineoplastik ilaçların hazırlanması ve uygulanması süreçlerinde çalışanlar; deri teması, solunum yolu veya göz yoluyla bu maddelere maruz kalabilmekte, hijyen ilkelerine uygun olmayan uygulamalar ise maruziyet düzeyini artırabilmektedir (Ovayolu ve Ovayolu, 2019). Bu nedenle kimyasal maddelerle çalışan personelin uygun kişisel koruyucu donanım (koruyucu önlük, eldiven, gözlük vb.) kullanması, çalışma alanlarının yeterli biçimde havalandırılması ve kimyasalların güvenli saklama koşullarında depolanması, kimyasal risklerin kontrolünde temel önlemler arasında yer almaktadır (Yörükoğlu vd., 2005).

1.2.4 Ergonomik Riskler

Ergonomik riskler, çalışanların tekrarlayıcı hareketler yapması, uygunsuz postürlerde çalışması veya titreşim üreten ekipmanlara maruz kalması sonucunda ortaya çıkan ve özellikle kas-iskelet sistemi üzerinde belirgin etkiler doğurabilen önemli bir mesleki sağlık sorunudur (Şahin, 2014). Sağlık çalışanlarında orta ve yüksek frekanslı titreşime maruziyet; kan dolaşımının olumsuz etkilenmesine, karpal tünel sendromu başta olmak üzere çeşitli nörolojik ve kas-iskelet sistemi bozukluklarının gelişmesine zemin hazırlayabilmektedir (Aşkın ve Dinç, 2018). Bu tür maruziyetlerin, el gücünde azalma, halsizlik ve uyku bozuklukları gibi ek sorunlarla birlikte seyredebileceği bildirilmektedir (Aşkın ve Dinç, 2018). Özellikle diş hekimliği uygulamalarında kullanılan cihazların oluşturduğu mekanik vibrasyon; vasküler, sinirsel ve osteoartiküler etkiler yoluyla “Vibrasyon Sendromu” olarak tanımlanan mesleki hastalığa neden olabilmektedir (Ayatollahi ve ark., 2012, s. 2).

Ergonomik risklerin azaltılmasında çalışma ortamının ergonomi ilkelerine uygun biçimde düzenlenmesi ve kullanılan ekipmanın ergonomik özellikler taşıması temel bir gerekliliktir. Bu yaklaşım, sağlık çalışanlarının mesleki yüklenmesini azaltarak uzun dönemli kas-iskelet sistemi sorunlarının önlenmesine ve çalışma kapasitesinin korunmasına katkı sağlayabilir (Akpınar ve Çakmakkaya, 2014).

1.2.5 Psikososyal Riskler

Sağlık çalışanları; iş yükünün yoğunluğu, uzun çalışma saatleri ve nöbet sistemi gibi çalışma koşullarına bağlı olarak yüksek düzeyde stres yaşayabilmektedir. Bu durum zamanla tükenmişliğe zemin hazırlamakta; tükenmişlik, bireyin duygusal ve/veya fiziksel kaynaklarının azalmasıyla ortaya çıkan bir yıpranma süreci olarak değerlendirilmektedir (Altundere, 2023). Hastane ortamında önemli psikososyal risklerden biri de mobbing olup, çalışanların dışlanma, yıldırılma ya da çeşitli biçimlerde mahrum bırakılma gibi olumsuz davranışlara maruz kalmasına yol açabilmektedir (Tel vd., 2003). Süreğen gerginlik ve stres altında çalışan bireylerde koroner arter hastalığı, uyku bozuklukları, migren, kas gerginliği ile depresyon ve anksiyete gibi ruhsal sorunların görülebileceği bildirilmektedir (Özcanarslan, 2009). Ayrıca stres düzeyindeki artışın, iş verimliliğini azaltarak çalışma ortamının güvenliğini ve hizmet sunumunun kalitesini olumsuz etkileyebileceği vurgulanmaktadır (Tel vd., 2003; Özcanarslan, 2009; Altundere, 2023).

1.2. Politikaların Rolü

Politika; toplumun ortak yararını gözeten kararlar, kurallar ve düzenlemeler bütünü olarak tanımlanmaktadır (Kapani, 2014; Öztekin, 2003). Sağlık politikası ise sağlık hizmetlerinin sunumuna ilişkin yöntem ve kararları kapsayan; kamu ve özel kurumları içine alan bütüncül bir çerçeve sunmaktadır. Bu çerçevede çalışan sağlığı ve güvenliği, sağlık politikasının temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Atabey, 2012). Çalışan güvenliğine yönelik politikaların tarihsel gelişimi incelendiğinde, uluslararası düzeyde önemli bir başlangıç noktası olarak ILO'nun 1950'li yıllarda sağlık çalışanlarının "sağlıklı olma ve güvenli ortamda çalışma" hakkını vurgulaması öne çıkmaktadır (Meydanlıoğlu, 2013). Türkiye'de çalışan güvenliği konusu 1989 yılında gündeme gelmiş olsa da, uygulamaya dönük somut adımların özellikle 2009 tarihli "Sağlık Kurum ve Kuruluşlarında Hasta ve Çalışan Güvenliğinin Sağlanması Tebliği" ile belirginlik kazandığı görülmektedir. Söz konusu Tebliğ'de kesici-delici yaralanmalar, kan ve vücut sıvılarıyla temas, radyasyon ve kemoterapi ilaçlarına maruziyet ile fiziksel şiddet gibi başlıca risk alanlarına yönelik alınması gereken önlemler tanımlanmıştır (Sağlık Bakanlığı, 2009). Bu Tebliğ, 2011 yılında yürürlüğe giren "Hasta ve Çalışan Güvenliğinin Sağlanmasına Dair Yönetmelik" ile yürürlükten kaldırılmış; sağlık kurumlarında güvenli hizmet sunumu, risk analizleri, komite yapılanmaları ve hizmet içi eğitim süreçlerine ilişkin daha kapsamlı hükümler getirilmiştir. Yönetmelik kapsamında kurumlara; çalışan güvenliği açısından sağlık taramalarının yürütülmesi, kişisel koruyucu donanım kullanımının sağlanması, fiziksel saldırıların önlenmesine yönelik düzenlemelerin yapılması ve bildirim sistemlerinin işletilmesi gibi sorumluluklar verilmiştir (Sağlık Bakanlığı, 2011). Sağlık Bakanlığı'nın hizmet kalite standartları doğrultusunda kurumları yıllık olarak denetlemesi, sağlık tesislerinin "çok riskli" işyerleri arasında değerlendirilmesi nedeniyle çalışan güvenliği açısından ayrıca önem taşımaktadır (Eken ve Coşkun, 2019). Bunun yanı sıra 23 No'lu Genelge ile riskli alanların değerlendirilmesi, güvenlik personelinin artırılması, iletişim eğitimlerinin güçlendirilmesi, alternatif çıkış yollarının planlanması ve şiddet durumlarında "hizmetten çekilme hakkı" gibi uygulamalar kurumlara bildirilmiştir (Eken ve Coşkun, 2019). Çalışanlara yönelik şiddet olaylarına ilişkin olarak Beyaz Kod sistemi oluşturulmuş; kayıt, bildirim ve hukuki yardım süreçleri 2016/3 sayılı Genelge ile ayrıntılandırılmıştır (Sağlık Bakanlığı, 2020). Ayrıca 663 sayılı KHK ve ilgili düzenlemelerle, sağlık çalışanlarına karşı işlenen suçlarda hukuki yardım sağlanmasına yönelik çerçeve oluşturulmuştur (Resmi Gazete, 2011).

2. SAĞLIK KURUMLARINDA İSG EĞİTİMLERİNİN MEVZUATTAKİ YERİ

Sağlık kurumlarında iş sağlığı ve güvenliği (İSG) eğitimlerinin kapsamı ve uygulanma biçimi, ulusal mevzuatın belirlediği yükümlülükler çerçevesinde şekillenmektedir. Mevzuat; işverenin çalışanlara İSG eğitimi verme sorumluluğunu açık biçimde tanımlamakta, eğitimlerin kapsamını, zamanlamasını ve uygulanma esaslarını düzenlemektedir. Sağlık sektörünün "çok tehlikeli" sınıfta değerlendirilmesi, eğitim uygulamalarını bu alanda daha da kritik hâle getirmekte; sağlık çalışanlarının karşılaştığı risklere uygun, sistematik ve sürdürülebilir bir eğitim yapılanmasını zorunlu kılmaktadır (Sağlık Bakanlığı, 2011; Resmi Gazete, 2012; T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2012; T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013a).

2.1. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu Kapsamında Eğitimler

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, işverenin çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlama yükümlülüğünü temel bir ilke olarak düzenlemektedir. Bu yükümlülük kapsamında mesleki risklerin önlenmesine yönelik gerekli tüm tedbirlerin alınması; bilgilendirme ve eğitim faaliyetlerinin planlanması ve yürütülmesi gerekmektedir. Kanunda, işverenin dış birimlerden hizmet almasının sorumluluğu ortadan kaldırmadığı ve alınan önlemlerin maliyetinin çalışanlara yansıtılamayacağı açıkça ifade edilmektedir. Eğitim yükümlülüğü çerçevesinde çalışanların İSG eğitimlerini işe başlamadan önce almaları sağlanmakta; işin niteliği, çalışma koşulları veya risklerin değişmesi durumunda eğitimlerin yenilenmesi gerekmektedir. Ayrıca tehlikeli ve çok tehlikeli işlerde çalışanların mesleki eğitimlerini belgelendirmeleri zorunlu tutulmakta; iş kazası geçiren veya meslek hastalığına yakalanan çalışanlara ilave eğitim verilmesi ve altı aydan fazla süreyle işten uzak kalanlara bilgi yenileme eğitimi sağlanması da mevzuatın öngördüğü düzenlemeler arasında yer almaktadır. Eğitimlerin çalışma süresi içinde değerlendirilmesi ve çalışanlara mali yük oluşturmaması, Kanunun temel ilkeleri arasındadır (Resmi Gazete, 2012).

2.2. Sağlık Kurumları Çerçevesinde Yönetmeliklerin Rolü

"Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik", 6331 sayılı Kanun doğrultusunda işyerlerini ve eğitim faaliyetlerinin planlanmasına ilişkin uygulama esaslarını düzenleyen temel metinlerden biridir. Yönetmeliğin ilgili bölümlerinde işverenin sorumlulukları tanımlanmakta; eğitim uygulamalarının planlanması, yürütülmesi ve değerlendirilmesine ilişkin hükümler yer almaktadır. Bunun yanında özel politika gerektiren gruplar ile özel görevi bulunan çalışanların eğitimine yönelik düzenlemeler de aktarılmaktadır. Eğitimlerin maliyeti, süresi ve çalışanların yükümlülükleri ayrıca ele alınarak eğitim süreçlerinin uygulamadaki çerçevesi netleştirilmektedir.

Yönetmelikte, eğitim programlarının hazırlanmasında çalışanların veya çalışan temsilcilerinin görüşlerinin alınması gerektiği açıkça belirtilmekte; eğitim süreleri, ele alınacak konu başlıkları ve eğitimlerin temel ilkeleri belirli maddeler altında düzenlenmektedir. Bu hükümler, sağlık kurumlarında İSG eğitimlerinin kapsamını ve içeriğini standartlaştırarak eğitim sürecinin mevzuata uygun biçimde yürütülmesine rehberlik etmektedir (Resmi Gazete, 2012).

2.3 Eğitim Sürekliliği ve Denetim

İSG eğitimlerinin sürekliliği, mevzuat çerçevesinde temel bir yükümlülük olarak düzenlenmiştir. Eğitimler, işyerinde değişen koşullar ve ortaya çıkan yeni riskler doğrultusunda güncellenmekte; gereksinim duyulduğunda belirli aralıklarla tekrarlanarak sürekliliği sağlanmaktadır. Eğitimlerin süresi ve kapsamına ilişkin esaslar ilgili düzenlemelerde açık biçimde tanımlanmakta; eğitim programlarının hazırlanması sürecinde çalışanların veya çalışan temsilcilerinin görüşlerinin alınması zorunlu tutulmaktadır.

Bunun yanı sıra risk değerlendirmesi sonuçları ile teknik kontroller, ölçümler ve teftişlerden elde edilen bulgulara çalışan temsilcilerinin erişiminin sağlanması, eğitim ve denetim süreçlerinin şeffaflık ve katılımcılık ilkeleri doğrultusunda yürütülmesine katkı sunmaktadır. Bu düzenlemeler, sağlık kurumlarında İSG eğitimlerinin yalnızca uygulanmasını değil; aynı zamanda izlenmesini, değerlendirilmesini ve sürekli iyileştirme yaklaşımıyla geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Resmi Gazete, 2012; Yıldız ve Şahan, 2020).

2.4 Uluslararası Düzenlemelerle Uyum

Uluslararası düzenlemeler, ülkelerin iş sağlığı ve güvenliği (İSG) sistemlerini geliştirmesinde önemli bir referans ve yönlendirici çerçeve sunmaktadır (ILO, 2003). Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) sözleşme ve rehberlerinde, çalışanın ruhsal, fiziksel ve toplumsal iyilik hâlinin güvenli çalışma koşullarıyla doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmakta; sağlığın yalnızca hastalık veya sakatlığın yokluğu ile sınırlı olmadığı, işin yürütümü sırasında emniyet ve hijyenle bağlantılı bilişsel ve bedensel etkenleri de kapsadığı belirtilmektedir (Altundere, 2023). Bu yaklaşım, emniyet ve sağlık düzenlemelerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında devletlerin, işverenlerin ve sosyal tarafların ortak sorumluluğuna işaret etmektedir (ILO, 2022).

Türkiye'nin taraf olduğu uluslararası düzenlemeler arasında yer alan Tarımda İş Güvenliği ve İş Sağlığı Sözleşmesi ise çalışanların teknoloji kaynaklı riskler hakkında bilgilendirilmesini ve gerekli önlemleri alabilecek bilinç düzeyine ulaşmasını temel bir gereklilik olarak ele almaktadır (ILO, 2001). Bu çerçeve, sağlık kurumları açısından da İSG politikalarının uluslararası standartlarla uyumlu biçimde yapılandırılmasını; uygulamaların küresel normlar doğrultusunda düzenli olarak gözden geçirilerek güncellenmesini gerekli kılmaktadır (ILO, 2001).

3. İSG EĞİTİMLERİNİN SAĞLIK KURUMLARINDAKİ UYGULAMA ALANLARI

Sağlık kurumları, teknik ve biyolojik tehlikelerden ergonomik ve psikososyal etmenlere kadar uzanan çok boyutlu risklerin bir arada bulunduğu çalışma ortamlarıdır. Bu ortamlarda çalışanlar, yüksek teknolojili cihazların yoğun kullanımı ve hizmet sunumunun kesintisiz/yoğun iş akışı içinde yürütülmesi nedeniyle çeşitli mesleki risklere maruz kalabilmektedir (Öztürk vd., 2012). Bu nedenle iş sağlığı ve güvenliği (İSG) eğitimleri, çalışanların karşılaşabilecekleri riskleri tanımasını, risklere uygun korunma davranışları geliştirmesini ve gerekli önlemleri zamanında uygulamasını destekleyen temel bir müdahale alanı olarak değerlendirilmektedir.İSG eğitim süreci, işyerine özgü risklerin belirlenmesi ve kontrol altına alınmasına yönelik uygulamaların sistematik biçimde yürütülmesini destekleyerek çalışan sağlığının korunmasına katkı sunar (Bilir ve Yıldız, 2014). Bununla birlikte eğitimler, çalışanların maruziyetlerini ve yaşadıkları sağlık sorunlarını doğru biçimde tanımlayarak ilgili birimlere iletebilme becerisini güçlendirebilmekte; böylece erken bildirim, izlem ve önleme mekanizmalarının işleyişini kolaylaştırabilmektedir (Kailou, 2014). Bu çerçevede ergonomi, biyolojik maruziyet, kimyasal tehlikeler, psikososyal riskler ve fiziksel etkenler, sağlık kurumlarında İSG eğitimlerinin doğrudan uygulama alanlarını oluşturan temel başlıklar arasında yer almaktadır.

3.1 Ergonomik Risklerin Azaltılması

Sağlık kurumlarında ergonomik riskler, çalışanların günlük görevleri sırasında kas-iskelet sistemi üzerine binen yükün artmasıyla belirginleşen önemli bir mesleki sorun alanıdır (Gökçe, 2020). Hastane ortamında hasta taşıma/transferi, uzun süre ayakta çalışma, tekrarlayıcı hareketler ve uygunsuz postürde görev yapma gibi etmenler, ergonomik risklerin yaygınlaşmasına ve buna bağlı fiziksel zorlanmaların artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle ergonomik risklerin yönetiminde düzenli ve planlı eğitim faaliyetleri kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Çalışma ortamının ergonomi ilkelerine uygun biçimde düzenlenmesi, işe uygun ekipman seçimi ve beden mekaniğine ilişkin eğitimlerin verilmesi; çalışanların fiziksel yüklenmesini azaltmayı, güvenli çalışma alışkanlıklarını geliştirmeyi ve kas-iskelet sistemi sorunlarının önlenmesini hedeflemektedir. Sağlık çalışanlarında kas-iskelet sistemi problemlerinin sık görülmesi, ergonomiye ilişkin farkındalığın artırılmasını ve koruyucu uygulamaların sistematik hâle getirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çerçevede ergonomik çalışma koşullarının sağlanması ve çalışanların düzenli aralıklarla ergonomi eğitimi alması, sağlık kurumlarında İSG eğitimlerinin temel ve zorunlu uygulama alanlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Gökçe, 2020).

3.2. Biyolojik Risklerin Yönetimi

Sağlık kurumlarında biyolojik riskler, çalışanların hastalarla ve kontamine materyallerle sürekli temas hâlinde olmaları nedeniyle kritik bir önem taşımaktadır (Elçin, 2020; Atar vd., 2022). Sağlık işletmeleri, bakteriyel ve diğer biyolojik etmenlerin yoğun biçimde bulunduğu çalışma ortamları arasında yer almakta; bu durum çalışanların çok sayıda biyolojik risk unsuruna maruz kalabilmesine zemin hazırlamaktadır (Öztürk, 2012; Atar vd., 2022). Bu nedenle biyolojik risklerin etkin biçimde yönetimi; hijyen uygulamalarının güçlendirilmesi, bağışıklama

süreçlerinin planlı biçimde yürütülmesi ve çalışanlara yönelik koruyucu eğitimlerin düzenli olarak uygulanmasıyla mümkün olabilmektedir.

Bulaşıcı hastalıkların kontrolünde yayılımı önlemeye yönelik uygulamalar, bağışıklama çalışmaları ve gerekli hijyen eğitimlerinin sağlanması, biyolojik maruziyetin en aza indirilmesinde temel araçlar arasında yer almaktadır (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013b). Bunun yanı sıra biyolojik etkenlere ilişkin özel yönetmeliklerin uygulanması, sağlık çalışanlarının güvenli bir çalışma ortamında görev yapabilmeleri açısından zorunlu bir düzenleyici çerçeve sunmaktadır (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013c).

3.3. Kimyasal Maddelerle Çalışma Güvenliği

Sağlık kurumlarında kimyasal maddelerle çalışma, çalışanların maruz kalabileceği risklerin sistematik biçimde değerlendirilmesini ve uygun kontrol önlemlerinin uygulanmasını gerektirmektedir (Yıldız ve Şahan, 2020). Farklı meslek gruplarının iş süreçleri ve maruziyet profillerinin değişkenlik göstermesi, kimyasal etkenlere karşı alınacak önlemlerin mesleğe özgü olarak planlanmasını zorunlu kılmaktadır (Yıldız ve Şahan, 2020). Bu kapsamda kişisel koruyucu donanımın doğru seçimi kritik olup, özellikle gaz bulunan ortamlarda yalnızca toz maskesi kullanımının yeterli koruma sağlamadığı; yanlış güven algısı nedeniyle maruziyeti artırabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Kimyasal risklerin azaltılmasında öncelik, tehlikeli maddelerin daha az tehlikeli olanlarla ikâme edilmesi, işlemlerin mümkün olduğunda kapalı sistemlere alınması ve lokal havalandırma gibi mühendislik kontrollerinin uygulanmasına verilmelidir (Yıldız ve Şahan, 2020). Ayrıca kimyasal risklerin yönetimi, ilgili yönetmeliklerde tanımlanan koruyucu düzenlemelere uyulmasını gerektirmekte; bu düzenlemeler sağlık çalışanlarının güvenli bir çalışma ortamında görev yapabilmesi için temel bir çerçeve sunmaktadır (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013b).

3.4. Psikososyal Risklerin Yönetimi

Sağlık hizmetlerinde çalışanların en sık karşılaştığı psikososyal risklerden biri, şiddete maruziyettir. Farklı sağlık kurumlarında şiddete uğrama sıklığının yüksek olduğunu gösteren bulgular, çalışanların çalışma ortamında ciddi bir baskı ve güvenlik kaygısı altında görev yaptığını ortaya koymaktadır (Al vd., 2012; Nart, 2015). Şiddet olayları ve güvencesiz çalışma koşullarının çalışanlarda çok yönlü olumsuz sonuçlara yol açtığı; bu durumun mesleki motivasyonu azalttığı ve iş doyumunu olumsuz etkilediği vurgulanmaktadır (Bahadır Yılmaz ve ark., 2022; Choi & Lee, 2017).

Şiddete bağlı gelişen korku ve tedirginlik, çalışanların görevlerini etkili biçimde yerine getirmesini güçleştirebilmekte ve dolaylı olarak sağlık hizmetinin niteliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Hahn vd., 2008; El-Gilany vd., 2009; Magnavita ve Heponiemi, 2012; Bilişli ve Hizay, 2024). Psikososyal riskler kapsamında değerlendirilen mobbingin depresyonla ilişkili olduğunun gösterilmesi ise bu tür olumsuz örgütsel davranışların çalışanların ruhsal iyi oluşu üzerindeki doğrudan etkisine işaret etmektedir (Tel vd., 2003). Bunun yanı sıra tükenmişlik, sağlık personelinde sık görülen ve hizmet sunumunun sürekliliğini aksatabilen önemli bir risk çıktısı olarak öne çıkmaktadır (Zheng vd., 2022; Choi vd., 2022).

Bu çerçevede psikososyal risklerin etkili yönetimi; şiddeti önlemeye yönelik kurumsal düzenlemelerin güçlendirilmesini, destekleyici ve güvenli bir çalışma ortamının geliştirilmesini ve çalışanların ruhsal dayanıklılığını artırmaya yönelik eğitim süreçlerinin bütüncül biçimde uygulanmasını gerekli kılmaktadır (Lamontagne vd., 2007).

3.5. Acil Durum Prosedürleri ve Tatbikatları

Sağlık kurumlarında acil durumlara hazırlık, çalışan güvenliğinin sağlanmasında temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Sağlık Bakanlığı, 2011). Hastaneler; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve psikososyal risklerin birlikte bulunduğu karmaşık çalışma ortamları olduğundan, acil durum planlarının oluşturulması ve bu planların düzenli tatbikatlarla desteklenmesi zorunlu bir uygulama alanı olarak öne çıkmaktadır (Öztürk vd., 2012, ss. 252–268). Acil durum yönetimine yönelik eğitim ve tatbikatlar, çalışanların olası tehlikeleri tanımasını, doğru müdahale basamaklarını öğrenmesini ve kriz anında koordineli hareket edebilmesini amaçlamaktadır (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013a).

Ulusal mevzuat da sağlık kurumlarında acil durum süreçlerinin yapılandırılmasını ve çalışanlara eğitim yoluyla aktarılmasını düzenlemektedir. “Hasta ve Çalışan Güvenliğinin Sağlanmasına Dair Yönetmelik” kapsamında, sağlık kurumlarının güvenli hizmet sunumu için gerekli önlemleri alması, muhtemel riskleri belirlemesi ve acil durum süreçlerini çalışanlara eğitim yoluyla kazandırması zorunlu tutulmuştur (Sağlık Bakanlığı, 2011). Yönetmelikte ayrıca çalışan güvenliği komitelerinin oluşturulması ve acil durum planlarının uygulanmasının izlenmesi gerekliliğine yer verilerek, süreçlerin kurumsal düzeyde takip edilmesi hedeflenmiştir.

Acil durum tatbikatları; yangın, patlama, kimyasal dökülme, radyasyon yayılımı ya da şiddet olayları gibi farklı senaryolara göre planlanabilmektedir. Bu tatbikatlar, çalışanların kendi birimlerine özgü riskleri tanımasını ve olay anında uygulanması gereken tahliye, bildirim ve müdahale adımlarını pekiştirmesini sağlayarak kurumsal hazırlık düzeyini güçlendirmektedir. Bu yönüyle tatbikatlar, risk farkındalığını artırmakta ve güvenli davranışların geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Tatbikatların düzenli aralıklarla tekrarlanması ise edinilen bilgi ve becerilerin sürekliliğini destekleyerek acil durum yönetiminin etkinliğini artırmaktadır (Sağlık Bakanlığı, 2021).

4. SONUÇLAR

Sağlık çalışanları; kimyasal maddelere maruziyet, mekanik ve fiziksel tehlikeler, enfeksiyon riski ve psikososyal yüklenmeler gibi çok boyutlu mesleki risklerle karşı karşıyadır (Erçelik vd., 2024). Literatürde, sağlık kurumlarında gürültü düzeylerinin çalışan sağlığını olumsuz etkileyebildiği; hastane personelinin ergonomik zorlanmalar, kas-iskelet sistemi problemleri ve postür bozukluklarına sık biçimde maruz kaldığı bildirilmektedir (Vehid vd., 2011; Alp vd., 2012; Aşkın ve Dinç, 2018). Bunun yanında sağlık çalışanlarının şiddete maruz kalma sıklığının yüksek olduğu ve bu durumun psikososyal açıdan önemli sonuçlar doğurduğu çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır (Ayrancı vd., 2002; Hahn vd., 2008; El-Gilany vd., 2009; Magnavita ve Heponiemi, 2012; Bilişli ve Hizay, 2024).

Bu bulgular çerçevesinde değerlendirildiğinde, sağlık kurumlarında verilen iş sağlığı ve güvenliği (İSG) eğitimlerinin yalnızca yasal bir zorunluluk olmadığı; aynı zamanda çalışan sağlığının korunmasında temel ve etkili bir araç olduğu görülmektedir. İSG eğitimleri; ergonomik risklerin azaltılmasından biyolojik maruziyetin kontrolüne, kimyasal tehlikelerin yönetiminden psikososyal risklerin azaltılmasına kadar geniş bir uygulama alanını kapsamaktadır. Eğitimlerin temel hedefi, çalışanların riskleri tanımasını, uygun korunma yöntemlerini öğrenmesini ve güvenli davranışları sürdürülebilir biçimde geliştirmesini sağlamaktır (Bilir ve Yıldız, 2014; Kailou, 2014). Bu süreçte eğitimlerin periyodik olarak yenilenmesi ve çalışan katılımını güçlendiren bir yaklaşımla yürütülmesi, iş kazaları ile meslek hastalıklarının azaltılmasına anlamlı katkı sunmaktadır (Güneysulu, 2023). Politika boyutundan bakıldığında, Türkiye'de çalışan güvenliğine ilişkin düzenlemelerin zaman içinde daha kapsamlı bir çerçeveye kavuştuğu anlaşılmaktadır. 2009 tarihli Tebliğ ile belirginleşen süreç, 2011 Yönetmeliği ve sonraki genelgelerle güçlendirilmiş; risk analizi, komite yapılanmaları, bildirim sistemleri ve şiddetle mücadele gibi alanlarda kurumsal uygulamaları yönlendiren önemli standartlar oluşturulmuştur (Sağlık Bakanlığı, 2011; Eken ve Coşkun, 2019). Bu düzenlemeler, özellikle sağlık çalışanlarının biyolojik ve psikososyal risklere karşı korunmasında kurumsal mekanizmaların güçlendirilmesine katkı sağlamıştır. Sonuç olarak, sağlık çalışanlarının karşılaştığı risklerin çeşitliliği dikkate alındığında; İSG politikalarının güçlendirilmesi, eğitimlerin sürekliliğinin sağlanması, kayıt-bildirim sistemlerinin etkin işletilmesi ve uluslararası standartlarla uyumun geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır. Akademik literatürdeki değerlendirmeler, çalışan güvenliğinin yalnızca kurum içi uygulamalarla sınırlı kalmaması; ulusal ve uluslararası düzeyde bütüncül yaklaşımlarla desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir (WHO, 1998; ILO, 2001; Lamontagne vd., 2007). Bu doğrultuda sağlık kurumlarında İSG eğitimlerinin kapsamının gereksinim temelli biçimde genişletilmesi, uygulama bütünlüğünün sağlanması ve çalışanların aktif katılımının teşvik edilmesi, mesleki risklerin azaltılmasında temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Akgün, S. (2015). Sağlık sektöründe iş kazaları. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, *2*(2), 67-75.

Akpınar, T., ve Çakmakkaya, B. Y. (2014). İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İşverenlerin Risk Değerlendirme Yükümlülüğü. Çalışma ve Toplum, 40(1), 273-304.

Al, B., Zengin, S., Deryal, Y., Gken, C., Yılmaz, D. A., & Yıldırım, C. (2012). Increased violence towards health care staff. *Journal Of Academic Emergency Medicine/Akademik Acil Tip Olgu Sunumlari Dergisi*, *11*(2).

Alp, E., Bozkurt, M., Başçiftçi, İ. (2012). Hastane Malzemelerinin Sağlık Çalışanlarının Postürüne Etkileri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri En- stitüsü Dergisi, 16(3), 221-226.

Altundere, A. (2023). *İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ EĞİTİMLERİNİN HASTANE ÇALIŞANLARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ALGISINA ETKİSİ: BİR ÖZEL HASTANE ÖRNEĞİ* [Yüksek lisans tezi, İSTANBUL RUMELİ ÜNİVERSİTESİ].

Aşkın, A., & Dinç, A. (2018). Sağlık Çalışanlarının İş Sağlığı Önlemlerine Yönelik Görüşlerinin İncelenmesi; Çanakkale'de Bir Kamu Hastanesi Örneği. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(2), 422-432.

Atabey Ertürk, S. (2012). Türkiye'de 1980 Sonrası Sağlıkta Dönüşüm Politikaları, Sağlık Sistemindeki Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Sağlık Sistemleri ve Sağlık Politikası, 1. Basım, Ankara: Gazi Kitabevi.

Atar, B., Yıldızlar, H. Y., & Fandaklı, S. (2022). Sağlık çalışanlarının maruz kaldığı tehlikeler, riskler ve iş kazaları. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *11*(4), 1637-1643.

Ayatollahi, J., Ayatollahi, F., Ardekani, A. M., Bahrololoomi, R., Ayatollahi, J., Ayatollahi, A., & Owlia, M. B. (2012). Occupational hazards to dental staff. Dental research journal, 9(1), 2.

Ayrancı, Ü., Yenilmez, Ç., Günay, Y., Kaptanoğlu, C. (2002). Çeşitli Sağlık Kurumlarında ve Sağlık Meslek Gruplarında Şiddete Uğrama Sıklığı, Anadolu Psikiyatri Dergisi, 3, 147-154.

Bahadır Yılmaz, E., Yılmaz, B., & Karabacak, B. G. (2022). Violence exposure, burnout, and job satisfaction among nurses. *Journal of Nursing Management, 30*(3), 554–563. https://doi.org/10.1111/jonm.13550

Bilir, N., Yıldız, A.N. (2014). İş Sağlığı ve Güvenliği Üçüncü Baskı. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 11-53.

Bilişli Y. ve Hizay D. Sağlık Çalışanlarına Yönelik İşyerinde Şiddet: Üniversite Hastanesi Örneği. The Journal of Academic Social Science Studies, 2016; 52: 473-486. DOİ number:http://dx.doi.org/10.9761/JASSS3723.

Birgören, B. (2017). Fine Kinney risk analizi yönteminde risk analizi yönteminde risk faktörlerinin hesaplama zorlukları ve çözüm önerileri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, *9*(1), 19-25.

Choi, S. H., & Lee, H. (2017). Workplace violence and professional quality of life among nurses. Journal of Nursing Management, 25(7), 508–518.

Corrao, C. R. N., Mazzotta, A., La Torre, G., & De Giusti, M. (2012). Biological risk and occupational health. *Industrial health*, *50*(4), 326-337.

Çalışma, T. C., & Bakanlığı, S. G. (2013). Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik. Resmî Gazete Sayı: 28648.

Eken, İ., & Coşkun, M. B. (2019). TÜRKİYE SAĞLIK POLİTİKASINDA ÇALIŞAN GÜVENLİĞİNİN YERİ VE ÖNEMİ. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 180-193.

Elçin, G. (2020). Sağlık Çalışanlarında İş Sağlığı Ve Güvenliği Algısının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

El-Gilany AH, Abou-ElWafa HS, Abd-El-Raouf SE, Abd-Elmouty SM, El-Sayed Hassan El-Sayed R. Mısır'daki Mansoura Üniversitesi hastanelerinde acil servis hemşirelerine ve acil olmayan servis hemşirelerine yönelik işyeri şiddeti. J. Interpers Violence. 2015;30(5):857–872. doi: 10.1177/0886260514536278.

Erçelik, H. C., Çamlıca, T., Kaya, V., Taşcıoğlu, E., Bülbül, F., Özseven, A., ... & Yazkan, R. (2024). Sağlık Çalışanlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Algıları ile Risklere Karşı Tutumlarının Değerlendirilmesi. *Sağlık Profesyonelleri Araştırma Dergisi*, *6*(3), 151-163.

Güneysulu, T. (2023). *İş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin çalışanlardaki iş sağlığı ve güvenliği farkındalığı etkisinin incelenmesi: Bir su ürünleri tesisinde araştırma*. Kocaeli Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Gökçe, A. (2020). İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN İŞ GÜVENLİĞİ KÜLTÜRÜNÜN ÖNEMİ ÜZERİNE BİR ODAK GRUP ÇALIŞMASI. *Ergonomi*, *3*(2), 82-95.https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5

Hahn S., Zeller A, Needham I., Kok G., Dassen T., and Halfens R. J.G. Patient and Visitor Violence in General Hospitals: A Systematic Review of The Literature. Aggression and Violent Behavior, 2008; 13: 431-441.

ILO. (2003). *ILO fact sheet: Workplace safety and health*. International Labour Organization. https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.htm
International Labour Organization. (2001). *C184 – Safety and health in agriculture Convention, 2001 (No. 184)*. ILO. https://normlex.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312329

International Labour Organization. (2022). Seoul Decleration on safety and health at work, 1-4.
İşler, M. C. (2013). İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimleri ile Güvenlik Kültürünün İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının Önlenmesindeki Etkisi. İş Müfettişi Yardımcılığı Etüt Yazısı Ankara.

Kailou, A. (2014). 2007-2008 yıllarında Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Çalışan Sağlığı Biriminin ulaştığı sağlık çalışanlarında iş stresinin değerlendirilmesi (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü), 14

Kapani, M. (2014). Politika Bilimine Giriş, 34. Basım, Ankara: Bilgi Yayınevi.

Krueger, C., Schue, S., & Parker, L. (2007). Neonatal intensive care unit sound levels before and after structural reconstruction. MCN: The American Journal of Maternal/Child Nursing, 32(6), 358-362.

Lamontagne, A. D., Keegel, T., Louie, A. M., Ostry, A., & Landsbergis, P. A. (2007). *A systematic review of the job-stress intervention evaluation literature: 1990–2005*. International Journal of Occupational and Environmental Health, 13(3), 268–280.

Magnavita N., and Heponiemi T. Violence Towards Health Care Workers in a Public Health Care Facility in Italy: A Repeated Cross-Sectional Study. BMC Health Services Research, 2012; 12: 108.

Meydanlıoğlu, A. (2013).“Sağlık Çalışanlarının Sağlığı ve Güvenliği”, Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(3): 192-199.

Nart, S. (2015). Tükenmişliğe etki eden faktörler ve tükenmişliğin yaratıcılık üzerine etkisi: Televizyon programları yapımcılığı sektörüne yönelik bir araştırma. Doktora Tezi. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.

Ovayolu, Ö., & Ovayolu, N. (2019). Antineoplastik ilaçlara güvenli yaklaşım. ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 6(2), 41-47.
Özcanarslan, N. (2009). Hemşirelerin iş ortamındaki stresörlerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Hemşirelik Ana Bilim Dalı, 14-18.

Özgüler, M., Saltık-Güngör, L., Kaygusuz, T., & Papila, Ç. (2016). Elazığ Eğitim ve Araştırma Hastanesi Sağlık Çalışanlarında Hepatit A, Hepatit B, Kızamık ve Kızamıkçık Seroprevalansı. *Klimik Journal/Klimik Dergisi*, *29*(1).

Öztekin, A. (2003). Siyaset Bilimine Giriş, 4. Baskı, Ankara: Siyasal Kitabevi.

Öztürk, H., Babacan, E., & Anahar, E. Ö. (2012). Hastanede çalışan sağlık personelinin iş güvenliği. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *1*(4), 252-268.

SALMAN, E., & KARAHAN, Z. C. (2014). Sağlık Çalışanlarında Enfeksiyon Riskleri Ve Korunma II: Solunum Yoluyla Bulaşan Enfeksiyonlar.

Solmaz, M., & Solmaz, T. (2017). Hastanelerde iş sağlığı ve güvenliği. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *6*(3), 147-156.

Sunar, F., & ÇINAR, Ş. (2017). Hastane çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği.

Şahin, V. (2014). Sağlık Çalışanlarında İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları (Tepecik Eğitim ve Araştırma Hastanesi Ameliyathane Çalışanlarında İş Kazaları). Beytepe Ünv. Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2012). İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Tehlike Sınıfları Tebliği. Resmî Gazete (28509).

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2013). *Çalışanların iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin usul ve esasları hakkında yönetmelik*. Resmî Gazete, Sayı: 28648.

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2013). Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik. Resmî Gazete (28648).

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2013b). *İşyeri hekimi ve diğer sağlık personelinin görev, yetki, sorumluluk ve eğitimleri hakkında yönetmelik* (RG No. 28713, 20 Temmuz 2013). Resmî Gazete. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130720-8.htm

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2013c). *Biyolojik etkenlere maruziyet risklerinin önlenmesi hakkında yönetmelik* (RG No. 28678, 15 Haziran 2013). Resmî Gazete. https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18485&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5

T.C. Resmi Gazete. Sağlık Alanında Bazı Düzenlemeler Hakkında Kanun Hükmünde Kararname; 2011.

T.C. Resmi Gazete. (2012, Haziran 30). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (28339).

T.C. Sağlık Bakanlığı. (2009). Sağlık kurum ve kuruluşlarında hasta ve çalışan güvenliğinin sağlanması ve korunmasına ilişkin usul ve esaslar hakkında tebliğ. Resmî Gazete (Sayı: 27214). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/04/20090429-12.htm

T.C. Sağlık Bakanlığı. (2011). Hasta ve çalışan güvenliğinin sağlanmasına dair yönetmelik. Resmî Gazete (Sayı: 27897). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/04/20110406-3.htm

T.C. Sağlık Bakanlığı. (2020). *Hukuki Yardım Ve Beyaz Kod Uygulaması Genelgesi*.

T.C. Sağlık Bakanlığı Hastane Afet Ve Acil Durum Planı (HAP) Hazırlama Kılavuzu 2021 https://dosyasb.saglik.gov.tr/Eklenti/40879 /0/haphazirlamaklavuzusurum214062021p df.pdf

Tel, H., Karadağ, M., ve Aydın, Ş. (2003). Sağlık Çalışanlarının Çalışma Ortamındaki Stres Yaşantıları ile Başetme Durumlarının Belirlenmesi. Hemşirelikte Araştırma Geliştirme Dergisi, 5(2), 13-23.

Vehid, S., Erginöz, E., Yurtseven E, Çetin E, Köksal S, Kaypmaz A. (2011). Noise Level of Hospital Environment. TAF Prev Med Bull, 10(4), 409-414.

World Health Organization. (1998). Violence and health: World report. WHO.

Yıldırım, S. A., & Gerdan, S. (2017). Hastane Öncesi Acil Sağlik Çalişanlarinin İş Sağliği Ve Güvenliği Kapsamindaki Mesleki Riskleri. *Hastane Öncesi Dergisi*, *2*(1), 37-49.

YILDIZ, A. N., & ŞAHAN, C. (2020). İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ TEMEL KAVRAMLAR. *İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ MESLEK HASTALIKLARI*, 19.

Yörükoğlu, K., Sayıner, A., ve Akalın, E. (2005). Patoloji laboratuvarında mesleki riskler ve güvenlik önlemleri. Aegean Pathology Journal, 2, 98-115.

Zheng, H., Song, X., Li, H., Geng, P., Meng, T., Zhang, H., & Wang, S. (2022). Psychological stress responses of medical staff after workplace violence: a longitudinal study. *American journal of translational research*, *14*(8), 5598.

SAĞLIKTA YAPAY ZEKA VE DİJİTALLEŞMENİN ROLÜ

Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet Aktar
Batman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
ahmetaktarr@gmail.com - https://orcid.org/0009-0002-7541-6871

Dr. Öğretim Üyesi Süreyya YİĞİTALP RENÇBER
Batman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
sureyya.rencber@batman.edu.com - https://orcid.org/0000-0003-2812-7110

ÖZET

Yapay zekâ ve dijitalleşme, sağlık hizmetlerinin planlanması, sunumu ve izlenmesini dönüştüren stratejik teknolojiler arasında yer almaktadır. Bu çalışma, yapay zekâ ve dijitalleşmenin sağlık hizmetlerindeki rolünü; kavramsal çerçeve, uygulama alanları, sunduğu fırsatlar ve beraberinde getirdiği güçlükler bağlamında bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda ulusal ve uluslararası literatür sistematik biçimde incelenmiş; alandaki güncel eğilimler ve tartışmalar sentezlenmiştir. Dijitalleşme; elektronik sağlık kayıtları, tele-sağlık uygulamaları, mobil sağlık çözümleri ve giyilebilir teknolojiler aracılığıyla sağlık hizmetlerine erişimi artırmakta, bakım süreçlerinin hızını ve etkinliğini güçlendirmektedir. Bu dijital altyapı üzerinde gelişen yapay zekâ uygulamaları ise büyük ve karmaşık sağlık verilerinin analizinde yüksek doğruluk sağlayarak tanı koyma, tedavi planlama, klinik karar destek ve hasta izlem süreçlerinde sağlık profesyonellerine önemli katkılar sunmaktadır. Radyoloji, cerrahi, hastane yönetimi ve klinik veri analitiği gibi alanlarda yaygınlaşan yapay zekâ uygulamalarının; hasta sonuçlarını iyileştirme, kaynak kullanımını optimize etme ve sağlık sistemlerinin verimliliğini artırma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, sağlıkta yapay zekâ ve dijitalleşmenin hızlı yayılımı; veri gizliliği ve siber güvenlik, algoritmik şeffaflık, etik sorumluluk, hesap verebilirlik ve dijital eşitsizlikler gibi kritik sorun alanlarını da gündeme getirmektedir. Bu çalışma, söz konusu teknolojilerin sürdürülebilir ve güvenilir biçimde uygulanabilmesi için etik, hukuki, teknik ve örgütsel boyutların birlikte ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Sağlık sistemlerinde kalıcı ve etkili bir dönüşümün sağlanabilmesi; bütüncül politika yaklaşımları, güçlü düzenleyici çerçeveler ve sağlık çalışanlarının dijital yetkinliklerinin geliştirilmesiyle mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ; dijitalleşme; sağlık hizmetleri; tele-sağlık; klinik karar destek.

1. GİRİŞ

Yapay zekâ, insan zekâsına özgü kabul edilen akıl yürütme, öğrenme, algılama ve karar verme gibi süreçlerin bilgisayar sistemleri tarafından taklit edilmesini hedefleyen disiplinlerarası bir bilim ve mühendislik alanıdır (Poole vd., 1998; Russell & Norvig, 2022). Bilim ve teknolojideki hızlı ilerleme, yapay zekâ ile dijitalleşmeyi yalnızca teknik bir gelişme alanı olmaktan çıkararak sağlık dâhil pek çok sektörde yapısal dönüşümün temel belirleyicileri hâline getirmiştir (Makridakis, 2017; Alowais vd., 2023). Bu dönüşüm bağlamında dijitalleşme, dijital teknolojilerin kurumların süreç ve hizmetlerini dönüştürmek üzere sistematik biçimde kullanılması olarak tanımlanmakta; aynı zamanda toplumsal ihtiyaç ve beklentilerin yeniden biçimlendiği daha geniş bir dönüşüm alanına işaret etmektedir (Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, 2021; Özen, 2021; Alowais vd., 2023). Nitekim dijital teknolojiler, yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlarken bazı geleneksel sektörlerin etkisini azaltmakta ve daha önce sınırlı görünürlüğe sahip alanların hızla büyümesini mümkün kılmaktadır (Özen, 2021). Bu yönüyle dijitalleşme, dijital ekonomi ve dijital toplum tartışmalarının da merkezinde konumlanmaktadır (Stoumpos vd., 2023). Sağlık alanında dijital sağlık kavramı, bilgi ve iletişim teknolojilerinin evrimsel gelişimi üzerine inşa edilen ve başta hasta bakımı olmak üzere sağlık hizmetlerinin niteliğini artırmayı hedefleyen bir ilerleme alanı olarak değerlendirilmektedir (Charalambous, 2024). Elektronik sağlık kayıtları, tele-sağlık hizmetleri, mobil sağlık uygulamaları ve giyilebilir teknolojiler gibi bileşenler, sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmakta; hizmet sunumunu daha izlenebilir, hızlı ve etkin hâle getirmektedir (Özen, 2021). Sağlık hizmetlerinin kalite, maliyet ve erişilebilirlik boyutlarıyla birlikte küresel ölçekte rekabetin yoğun yaşandığı bir alana dönüşmesi, dijital dönüşümü stratejik bir gereklilik olarak öne çıkarmıştır (Akalın ve Veranyurt, 2020).

Türkiye'de sağlık sisteminin dijitalleşmesine yönelik kurumsal adımlar, 2003 yılında başlatılan Sağlıkta Dönüşüm Programı ile ivme kazanmış; "Karar sürecinde etkili bilgiye erişim; Sağlık Bilgi Sistemi" başlığı altında çeşitli e-sağlık uygulamaları geliştirilmiştir (Çetin, 2024). İzleyen stratejik planlarda evrensel sağlık kapsayıcılığını destekleyecek biçimde erişilebilir, uygun ve etkin sağlık hizmeti sunumu hedeflenirken; dijital hastanelerin geliştirilmesi, sağlık bilgi sistemlerinin güçlendirilmesi ve altyapının sürdürülebilir kılınması öncelikli alanlar arasında yer almıştır (Çetin, 2024). Bu süreçte dijitalleşme; hasta ve hekimi aynı fiziksel ortamda buluşturmadan tanı ve tedavi süreçlerinin yürütülmesi, geçmiş tıbbi kayıtların hızlı biçimde görüntülenmesi, bekleme sürelerinin azaltılması ve akılcı ilaç kullanımıyla kaynak israfının sınırlanması gibi önemli kazanımlara katkı sunmuştur (Özen, 2021; Çetin, 2024).

Yapay zekânın sağlık sektörüne entegrasyonu, dijitalleşme ile oluşan veri ve altyapı üzerine inşa edilmekte ve sağlık hizmetlerinin sunum biçimini belirgin biçimde dönüştürmektedir (Jiang vd., 2017; Topol, 2019). Yapay zekâ ve makine öğrenimi, büyük ve karmaşık sağlık verilerini yüksek hız ve doğrulukla analiz edebilme kapasitesi sayesinde; tanı, tedavi planlama ve hasta izlem süreçlerinde klinisyenlere önemli bir karar desteği sunmaktadır (Fogel & Kvedar, 2018; Yazdi vd., 2024). Radyolojik görüntülerin yorumlanmasından kanser odaklarının saptanmasına, ilaç yanıtlarının bireyselleştirilmesinden genotip–fenotip ilişkilerinin çözümlenmesine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde yapay zekâ tabanlı

çözümler, sağlık hizmetlerinin kalite ve verimliliğini artırma potansiyeli taşımaktadır (Fogel & Kvedar, 2018; Topol, 2019). Öte yandan dünya genelinde kronik hastalık yükünün artması, nüfusun yaşlanması ve buna bağlı olarak nitelikli sağlık hizmetine yönelik talebin yükselmesi, sağlık sistemleri üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır (Kingston vd., 2018; Bener vd., 2019). Bu tabloya hekim ve sağlık personeli sayısındaki yetersizlik, artan iş yükü ve iş stresine bağlı memnuniyetsizlikler eklendiğinde, yapay zekâ teknolojileri sağlık hizmetlerinde verimliliği artırabilecek çözümler olarak daha görünür hâle gelmektedir (Akalın ve Veranyurt, 2021; Tarcan vd., 2024). Bununla birlikte yapay zekânın sağlık alanında hızla yaygınlaşması; veri gizliliği, algoritmik şeffaflık, hesap verebilirlik ve insan kontrolünün sınırları gibi etik ve hukuki tartışmaları da beraberinde getirmektedir (Reddy vd., 2020). Nitekim mevcut düzenleyici çerçevelerin, yapay zekâ sistemlerinin güvenlik ve etkinliğini değerlendirmeye yönelik standartlar bakımından bazı boşluklar içerdiği ve bunun uygulamaların ölçeklenmesinde engel oluşturabildiği belirtilmektedir (Jiang vd., 2017). Ayrıca artan sağlık harcamaları ve kırılgan grupların finansal risklerden korunması gerekliliği, politika yapıcıların sağlık finansmanı ve kapsayıcılık konularındaki hassasiyetini artırmakta; bu bağlamda ekonomik ve sosyal açıdan öncelikli grupları destekleyebilecek yapay zekâ çözümlerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Siala & Wang, 2022; Ramezani vd., 2023). Sağlık hizmetlerinde kullanılan yapay zekâ sistemlerinin uzun vadede güvenilir ve sürdürülebilir biçimde başarıya ulaşabilmesi ise etik, hukuki, teknik ve örgütsel boyutların birlikte ele alındığı bütüncül bir dijitalleşme stratejisini gerekli kılmaktadır (Kagadis vd., 2013; Akalın ve Veranyurt, 2021). Bu çerçevede bu çalışma, yapay zekâ ve dijitalleşmenin sağlık sektöründeki rolünü kavramsal ve uygulamalı yönleriyle tartışmayı; söz konusu teknolojilerin sunduğu fırsatları ve ortaya çıkardığı güçlükleri değerlendirerek sağlık hizmetlerinin geleceğine ilişkin güncel bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

2. YAPAY ZEKA VE DİJİTALLEŞME KAVRAMLARI

Yapay zekâ, insan zekâsına benzer biçimde düşünme, öğrenme, problem çözme ve karar verme süreçlerini taklit etmeyi amaçlayan disiplinlerarası bir alan olarak tanımlanmaktadır (Karslı, 2024). Bilgisayar bilimi, matematik, psikoloji ve sinirbilim gibi farklı disiplinlerin katkısıyla gelişen bu alanın temelinde, insan benzeri bilişsel işlevlerin makinelere aktarılabileceği düşüncesi yer almaktadır. Bu bağlamda Turing'in 1950 yılında önerdiği Turing Testi, makinelerin insan benzeri bilişsel performans sergileyip sergileyemeyeceğini tartışmaya açan erken dönem kuramsal çerçevelerden biri olarak kabul edilmektedir (Turing, 1950). Günümüzde yapay zekâ; veri toplama, analiz etme, öğrenme ve karar verme süreçlerini algoritmalar aracılığıyla yürüten akıllı sistemleri ifade etmekte; karmaşık görevleri yerine getirme ve bilişsel işlevleri taklit etme kapasitesi sayesinde insan zekâsını destekleme ve genişletme potansiyeli taşımaktadır (Goodfellow vd., 2016; Verma, 2018; Russell & Norvig, 2020). Dijitalleşme ise bilginin, süreçlerin ve hizmetlerin dijital teknolojilere dayalı sistemler aracılığıyla dönüştürülmesini ifade etmektedir (Massaro, 2021). Bu noktada dijitalleştirme (digitization), analog verinin dijital formata aktarılmasıyla sınırlı iken; dijitalleşme (digitalization), kurumların işleyişini ve değer üretim biçimlerini yeniden yapılandıran daha kapsamlı bir dönüşüm sürecini kapsamaktadır (Ng & Wakenshaw, 2018; Unruh & Kiron, 2017). Sürecin ivme kazanmasında yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri ve bulut bilişim gibi teknolojiler belirleyici olmaktadır (Siriwardhana vd., 2021). Dijital dönüşüm ise

dijitalleşmenin ötesine geçerek kurumların iş modellerini, hizmet tasarımını ve kullanıcı deneyimini yeniden şekillendiren daha kapsamlı bir yeniden yapılanma sürecini tanımlamaktadır (Savić, 2019). Sağlık sektöründe dijital dönüşüm, hizmet sunumunun hızını ve etkinliğini artıran stratejik bir yapı hâline gelmiştir. Sağlık hizmetlerinde dijitalleşme, veri yönetiminden klinik karar süreçlerine kadar geniş bir alanı etkilemektedir. Elektronik sağlık kayıtları, hasta verilerinin güvenli ve merkezi biçimde saklanmasına olanak sağlayarak hizmet kalitesini ve erişilebilirliği desteklemektedir (Awad vd., 2021). Tele-sağlık hizmetleri ve mobil sağlık uygulamaları ise coğrafi engelleri azaltarak sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmakta; izlem ve bakım süreçlerinde sürekliliği güçlendirmektedir (Siriwardhana vd., 2021). Buna ek olarak büyük veri analitiği ve yapay zekâ algoritmaları; hastalık tahmini, tedavi planlama ve risk değerlendirmesi gibi alanlarda daha duyarlı ve doğru karar üretimini desteklemekte, klinik süreçlere analitik bir boyut kazandırmaktadır (Yang vd., 2021; Elayan vd., 2021).

Sonuç olarak yapay zekâ ve dijitalleşme, sağlık sektöründe dönüştürücü bir güç olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojiler; hasta merkezli bakımın geliştirilmesine, hizmet verimliliğinin artırılmasına ve sağlık çalışanlarının iş yükünün azaltılmasına katkı sunmaktadır (Özdemir, 2022; Uysal ve Semiz, 2022). Dijitalleşmenin sağladığı altyapı, yapay zekâ uygulamalarının daha etkin ve yaygın biçimde kullanılmasını mümkün kılarken; kişiselleştirilmiş tıp ve uzaktan sağlık yönetimi gibi yeni uygulama alanlarının gelişimini de desteklemektedir (Wang vd., 2021). Bu yönüyle yapay zekâ ve dijitalleşme, modern sağlık sistemlerinin geleceğini şekillendiren temel bileşenler arasında değerlendirilmektedir.

3. SAĞLIK SEKTÖRÜNDE YAPAY ZEKÂ VE DİJİTALLEŞMENİN YÜKSELİŞİ

Yapay zekâ, sağlık sektöründe özellikle tanı, tedavi planlama ve hasta izlem süreçlerinde klinik kararları destekleyen önemli bir araç hâline gelmiştir. Görüntü analizi, tanı destek sistemleri ve büyük veri temelli değerlendirmeler sayesinde hızlı ve yüksek doğrulukta çıktılar üreterek klinik süreçlere katkı sunmaktadır (Topol, 2019). Nitekim röntgen, manyetik rezonans (MR) ve bilgisayarlı tomografi (BT) gibi görüntüleme verilerinin analizinde yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar; kanser başta olmak üzere birçok hastalığın erken saptanmasına yönelik önemli bir potansiyel taşımaktadır. Büyük veri analitiği ile hastalıkların seyri öngörülebilmekte, risk profilleri daha hassas biçimde değerlendirilebilmekte ve yeni tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine yönelik bilimsel üretim desteklenebilmektedir (Topol, 2019). Sağlıkta yapay zekâ uygulamalarının kökeni 1970'li yıllara kadar uzanmakta; bu dönemde geliştirilen Internist-1, CASNET ve MYCIN gibi sistemler yapay zekânın klinik ortama erken dönem giriş örnekleri arasında gösterilmektedir (Uzun, 2020). İzleyen yıllarda derin öğrenme yaklaşımlarının gelişmesiyle birlikte robotik cerrahi, hassas tıp, klinik tahmin ve ilaç geliştirme gibi alanlarda kayda değer ilerlemeler yaşanmıştır. Özellikle COVID-19 süreci, tele-tıp uygulamaları, sohbet robotları ve otomatik görüntü analizleri gibi çözümler aracılığıyla yapay zekânın sağlık hizmetlerinde kullanımını hızlandıran bir katalizör işlevi görmüştür (Hirani vd., 2024). Günümüzde yapay zekâ; doğal dil işleme, makine öğrenimi ve derin öğrenme teknikleri üzerinden kanser, kardiyovasküler hastalıklar ve inme gibi yüksek yük oluşturan alanlarda daha yaygın kullanılmakta; klinik süreçlerde karar verme hızını ve doğruluğunu artırma hedefiyle konumlanmaktadır (Tran vd., 2019).

Sağlık sistemlerinde dijitalleşmenin derinleşmesi, büyük hacimli sağlık verisinin üretildiği bir ortamda etkin veri yönetimini giderek daha zorunlu hâle getirmiştir. Bu kapsamda mHealth çözümleri, tele-tıp uygulamaları ve giyilebilir teknolojiler, "akıllı sağlık ekosistemi"nin temel bileşenleri arasında yer almakta; veri madenciliği ve analitik yöntemler, klinik karar süreçlerini destekleyen anlamlı bulguların üretilmesine katkı sağlamaktadır (Kılıç ve Tosun, 2021; Koyuncugil ve Özgülbaş, 2009). Bununla birlikte dijitalleşmenin hızlanması, kişisel sağlık verilerinin korunması ve güvenli paylaşımı gibi etik ve hukuki tartışmaları da daha görünür kılmış; veri gizliliği ve siber güvenlik sağlık yönetiminin öncelikli gündemlerinden biri hâline gelmiştir (Dülger, 2021; Yelmen, 2023). Bu doğrultuda, özellikle bulut tabanlı elektronik sağlık kaydı (EHR) sistemlerinde güvenli veri paylaşımını güçlendirmek amacıyla blok zinciri gibi yeni teknolojilere yönelim artmaktadır (Mızrak ve Aslan, 2023). Teknolojik gelişmeler, sağlık hizmetlerinde yeni uygulama eğilimlerini de beraberinde getirmiştir. Giyilebilir cihazlar, bireylerin sağlık parametrelerini kesintisiz izleyerek gerçek zamanlı veri üretmekte ve bireylerin kendi sağlık süreçlerine daha aktif katılımını desteklemektedir (Demirci, 2019; Akıncı vd., 2021). Tele-tıp, mobil sağlık uygulamaları ve sanal gerçeklik gibi yöntemler ise hizmetin mekândan bağımsız sunulmasına katkı sağlayarak erişilebilirliği artırmaktadır (Merih vd., 2021). Buna ek olarak yapay zekâ, ilaç tasarımı ve keşif süreçlerinde de giderek daha yaygın kullanılmakta; uzun süre ve yüksek maliyet gerektiren geliştirme aşamalarında zaman ve kaynak etkinliği açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Çelik vd., 2021; Tari ve Arpacı, 2024). Dijitalleşme ile güçlenen elektronik sağlık kayıtları ve yapay zekâ destekli tanı araçları, hasta bakımında hız ve doğruluğu artırırken; tele-sağlık uygulamaları coğrafi engelleri azaltarak hizmete erişimi genişletmektedir (Siriwardhana vd., 2021). Mobil teknolojilerin yaygınlaşmasıyla sağlık bilgisi dijital ortamlara taşınmış; bireylerin sağlık süreçlerine katılımını güçlendiren yeni bakım modelleri daha görünür hâle gelmiştir (İlgar, 2022).

Son olarak yaşlı nüfusun artması, kronik hastalık yükünün yükselmesi ve sağlık harcamalarının büyümesi, yapay zekâ ve dijitalleşmeye yönelik ilgiyi daha da artıran yapısal etmenler olarak öne çıkmaktadır (Liu, 2019; Nordlinger vd., 2020). Yapay zekânın tıbbi verilerde örüntü tanıma kapasitesi; tanı, tedavi, hastalık takibi, ilaç geliştirme ve tedavi prosedürlerinin belirlenmesi gibi çok sayıda alanda kullanımını mümkün kılmaktadır (Abhinav ve Subrahmanyam, 2019). Özellikle makine öğrenimi modellerinin klinik süreçlere entegrasyonu, hekimlerin daha hızlı ve daha doğru kararlar almasına katkı sağlamakta; radyoloji ve patoloji gibi alanlarda yapay zekâ destekli görüntü analizi giderek rutin bir araç hâline gelmektedir (Jiang vd., 2017; Char vd., 2018). Türkiye'de dijital dönüşüm, 2000'li yıllarda başlatılan Sağlıkta Dönüşüm Programı ile belirgin biçimde ivme kazanmıştır. Bu süreçte e-Nabız, MHRS ve teleradyoloji gibi uygulamalar; sağlık verilerinin dijital ortamda üretilmesi, paylaşılması ve yönetilmesini kolaylaştırarak hizmet sunumunda verimlilik ve sürekliliği desteklemiştir (Kasapoğlu, 2016; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2018). Tele-tıp uygulamalarının yaygınlaşması ise sağlık hizmetlerinin mekândan bağımsız biçimde sunulmasına olanak tanımış; özellikle COVID-19 pandemisi döneminde erişim ve süreklilik açısından kritik bir işlev üstlenmiştir (Uysal ve Ulusinan, 2020). Bu dijital altyapı üzerinde gelişen yapay zekâ uygulamaları, sağlık hizmetlerini daha hızlı, güvenilir, erişilebilir ve kişiselleştirilmiş bir yapıya dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Klinik karar destek sistemleri, erken tanı araçları, giyilebilir sensörler, robotik cerrahi ve dijital hasta

yönetimi çözümleri; bakım süreçlerinin izlenebilirliğini artırmakta, klinik kararların doğruluğunu desteklemekte ve kaynak kullanımını daha etkin hâle getirmektedir (Güzel vd., 2022; Tarcan vd., 2024). Bu yönüyle yapay zekâ ve dijitalleşmenin yükselişi, modern sağlık sistemlerinin geleceğini şekillendiren temel dönüşüm alanlarından biri olarak değerlendirilmektedir.

3.1. Yapay Zekânın Sağlık Hizmetlerindeki Uygulama Alanları

Yapay zekâ, hastanelerde tanı, tedavi, operasyonel yönetim ve hasta bakım süreçlerinde giderek daha belirgin bir rol üstlenmektedir. Özellikle tıbbi görüntü analizi, robotik cerrahi, klinik veri değerlendirme ve klinik karar destek sistemleri aracılığıyla sağlık hizmetlerinde hem bakım kalitesinin hem de süreç verimliliğinin artırılmasına katkı sunmaktadır (Jiang vd., 2017; Char vd., 2018).).

3.1.1. Radyoloji uygulamaları

Radyoloji, yapay zekâ uygulamalarının en yaygın ve görünür biçimde kullanıldığı tıbbi uzmanlık alanları arasında yer almaktadır. Yapay zekâ algoritmaları; MR, BT ve röntgen gibi görüntüleme verilerini analiz ederek kanser, enfeksiyon ve kırık gibi patolojilerin daha erken ve daha güvenilir biçimde saptanmasını desteklemektedir (Birinci, 2019). Derin öğrenme modelleri, görüntülerdeki karmaşık örüntüleri yüksek doğrulukla tanıyabilmekte; bu sayede tanı süreçlerinin hızlanmasına ve klinik karar vermenin desteklenmesine katkı sağlamaktadır (Kermany vd., 2018). Ayrıca bu gelişmelerin, radyologların iş yükünü azaltırken tanısal doğruluğu artırma potansiyeli taşıdığı bildirilmektedir (Gulshan vd., 2016).

3.1.2. Cerrahide yapay zeka ve robotik sistemler

Robotik cerrahi sistemleri, yapay zekâ bileşenleriyle bütünleştiğinde daha hassas, daha az invaziv ve daha güvenli cerrahi girişimlerin gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sistemler, cerrahın el titremesini azaltmaya yönelik mekanizmalar ve operasyon alanını ayrıntılı biçimde görselleştiren/analiz eden yapılar sayesinde komplikasyonların azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir. Yapay zekâ destekli cerrahi planlama ve karar destek araçları ise operasyon öncesi ve sırasında klinik karar süreçlerini güçlendirmektedir. Bu teknolojilerin gelişimiyle cerrahi uygulamalarda başarı oranlarının artması ve iyileşme süreçlerinin iyileştirilmesi beklenmektedir (Güzel vd., 2022).

3.1.3. Hastane veri analitiği ve klinik karar destek sistemleri

Hastane ortamında yapay zekânın en güçlü uygulama alanlarından biri, klinik veri analitiği ve buna dayalı karar destek sistemleridir. Elektronik sağlık kayıtları, laboratuvar sonuçları, vital bulgular ve klinik notlar üzerinden çalışan algoritmalar; tanı koyma, risk sınıflandırması ve tedavi planlama süreçlerini destekleyebilmektedir (Liu, 2019). Veri madenciliği yaklaşımları, hastalara yönelik daha kişiselleştirilmiş tedavi seçeneklerinin geliştirilmesine katkı sunarken, sağlık profesyonellerinin operasyonel kararlarında da yol gösterici olabilmektedir (Koyuncugil ve Özgülbaş, 2009). Ayrıca yapay zekâ temelli öngörü (tahmin) modellerinin, diyabet gibi bazı klinik durumların erken saptanmasına ve riskli grupların belirlenmesine olanak sağlayabileceği bildirilmektedir (Dankwa-Mullan vd., 2019).

3.1.4. Hastane yönetimi ve operasyonel süreçlerde yapay zeka

Yapay zekâ, hastanelerde dosya ve kayıt yönetimi, hasta akışının optimize edilmesi, randevu planlama ve personel dağılımı gibi idari ve operasyonel süreçlerde giderek daha etkin biçimde kullanılmaktadır (Ardahan ve Akdeniz, 2018). Bu kapsamda geliştirilen algoritmalar, hizmet talebine ve yoğunluğa ilişkin öngörüler üreterek kaynak kullanımını daha rasyonel hâle getirmekte; süreç verimliliğini artırırken maliyetlerin azaltılmasına da katkı sunabilmektedir (Tarcan vd., 2024). Randevu sistemlerinde yapay zekâ destekli yönlendirme ve planlama

yaklaşımları, bekleme sürelerinin azaltılmasını ve hasta deneyiminin iyileştirilmesini destekleyen önemli araçlar arasında değerlendirilmektedir (Uysal ve Semiz, 2022). Bu gelişmeler, sağlık kurumlarında veriye dayalı yönetim anlayışını güçlendirerek "dijital hastane" dönüşümünün temel bileşenleri arasında yer almaktadır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2016).

3.1.5. Gelecek perspektifi ve yapay zekanın potansiyeli

Yapay zekânın sağlık alanındaki gelişiminin önümüzdeki dönemde daha da hızlanması beklenmekte; özellikle tanı algoritmalarının moleküler düzeyde daha hassas sonuçlar üretebilmesi, ilaç keşfi ve geliştirme süreçlerinin kısalması ile hastanelerde operasyonel otomasyonun artması gibi çıktılar öngörülmektedir (Başol, 2015). Bu doğrultuda robotik cerrahinin daha ileri düzey uygulamalara evrilmesi, dijital ikiz (digital twin) yaklaşımlarının klinik karar süreçlerine entegre edilmesi ve kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarının yaygınlaşması, alandaki temel gelişim yönelimleri arasında değerlendirilmektedir (Chengoden vd., 2023). Ayrıca yapay zekâ tabanlı sistemlerin yaygınlaşmasıyla sağlık kurumlarında süreç verimliliğinin artacağı; risk temelli izlem ve hedefe yönelik müdahale olanakları sayesinde sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasına katkı sunulabileceği ve daha kapsayıcı bakım modellerinin geliştirilebileceği ifade edilmektedir (Sun & Medaglia, 2019b).

3.2.Sağlıkta Yapay Zekâ ve Dijitalleşmenin Fırsatları ve Zorlukları

Yapay zekâ ve dijitalleşme, sağlık hizmetlerinde hem klinik hem de idari süreçleri dönüştürerek önemli fırsatlar sunmaktadır. Yapay zekâ destekli tanı sistemleri, büyük veri setlerini analiz ederek hastalıkların erken ve doğru biçimde saptanmasını kolaylaştırmakta; özellikle radyoloji, patoloji ve kardiyoloji gibi alanlarda tanısal hataların azaltılmasına katkı sağlamaktadır (İbiş, 2018; Güzel vd., 2022). Büyük veri analitiğiyle her hastaya özgü risk profilleri daha hassas biçimde değerlendirilebilmekte ve kişiselleştirilmiş tedavi planları geliştirilebilmektedir; bu durum tedavi başarısını artırırken hasta sonuçlarını da iyileştirme potansiyeli taşımaktadır (Tarcan vd., 2024). Dijital hastane uygulamaları ve entegre elektronik sağlık kayıtları ise süreçleri hızlandırmakta, bilgiye erişimi kolaylaştırmakta ve sağlık çalışanlarının doğrudan hasta bakımına ayırabildiği zamanı artırabilmektedir (Yelmen, 2016; Ak, 2023). Ayrıca yapay zekâ, tekrarlayıcı ve zaman alan işlerin otomasyonunu destekleyerek çalışan verimliliğini artırmakta ve sağlık kurumlarında maliyet etkinliğine katkı sunabilmektedir (Akalın ve Veranyurt, 2021). Dijitalleşmenin sunduğu önemli fırsatlardan biri de sağlık hizmetlerinde erişim eşitliğinin güçlendirilmesidir. Tele-sağlık ve uzaktan izleme teknolojileri, coğrafi açıdan dezavantajlı bölgelerde yaşayan bireylerin hizmete erişimini kolaylaştırmakta; kronik hastalık yönetimini sürekli veri akışı ve izlemle destekleyerek daha etkin hâle getirebilmektedir (Siriwardhana vd., 2021). Bu tür sistemler, acil durum yönetimi ve salgın hastalık izleme gibi alanlarda da sağlık hizmeti sunumunun kapasitesini artırma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte yapay zekâ, araştırma–geliştirme süreçlerinde hızlandırıcı bir etki yaratmakta; ilaç keşfi, klinik karar destek sistemleri ve epidemiyolojik tahmin modelleri gibi alanlarda yenilikçi çözümlerin geliştirilmesini desteklemektedir (Akalın ve Veranyurt, 2021). Böylece sağlık sistemlerinin daha proaktif, öngörüye dayalı ve sürdürülebilir bir yapıya yönelmesi mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte dijitalleşme, önemli zorlukları da beraberinde getirmektedir. Sağlık verilerinin dijital ortamlarda depolanması ve paylaşılması; siber saldırılar, yetkisiz erişim ve veri ihlalleri gibi mahremiyet ve güvenlik risklerini artırmakta, bu riskler ise hastaların dijital sağlık uygulamalarına duyduğu güveni zayıflatabilmektedir (Paul vd., 2023). Blok zinciri gibi yenilikçi teknolojiler veri güvenliğini güçlendirme potansiyeli taşısa da maliyet, ölçeklenebilirlik ve altyapı gereksinimleri nedeniyle yaygın kullanımının sınırlı kaldığı belirtilmektedir (Saeed & Masters, 2021). Ayrıca dijital uçurum, ülkeler arasında ve toplumun farklı kesimleri içinde belirgin eşitsizlikler yaratabilmekte; internet erişimi, donanım imkânları ve dijital okuryazarlık düzeyindeki farklılıklar, bireylerin dijital sağlık hizmetlerinden

yararlanmasını kısıtlayabilmektedir (Schiavone vd., 2021; Richardson vd., 2022). Sağlık çalışanlarının dijital yetkinliklerinin yetersizliği ve bazı bölgelerde teknolojik altyapının gelişmemiş olması da dijitalleşmenin etkili biçimde uygulanmasını zorlaştıran etmenler arasında yer almaktadır (Senbekov vd., 2020).

Etik boyut, sağlıkta yapay zekâ kullanımının bir diğer kritik tartışma alanını oluşturmaktadır. Yapay zekâ sistemlerinin şeffaflığı, adaletli karar üretebilme kapasitesi, sorumluluk ve hesap verebilirlik mekanizmaları ile veri gizliliği gibi başlıklar, güçlü etik ilkelerle desteklenmiş hukuki çerçevelerin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır (Bostrom & Yudkowsky, 2011; Mason, 2017). Buna ek olarak yapay zekâ teknolojilerinin kötüye kullanım potansiyeli, hem dijital hem de fiziksel düzeyde riskler doğurarak sağlık sistemlerinin güvenliğini tehdit edebilmektedir (Brundage vd., 2018). Dolayısıyla yapay zekâ ve dijitalleşmenin sağlık hizmetlerinde sağlayacağı faydaların sürdürülebilir ve güvenilir biçimde ortaya çıkabilmesi; güvenlik, erişilebilirlik, etik ve yönetişim boyutlarının bütüncül politikalar, eğitim süreçleri ve uygulanabilir standartlarla birlikte ele alınmasına bağlıdır (Ward vd., 2008).

4. SONUÇ

Yapay zekâ, insan benzeri bilişsel süreçleri modelleyebilme kapasitesi sayesinde sağlık hizmetlerinde tanı, tedavi ve izlem alanlarında belirgin bir dönüşüm yaratmaktadır (Russell & Norvig, 2022). Büyük ve karmaşık sağlık verilerinin hızlı biçimde analiz edilebilmesi, hastalıkların daha erken saptanmasına ve tedavi yaklaşımlarının kişiye özgü olarak planlanmasına olanak tanımaktadır (Jiang vd., 2017). Dijitalleşme ile birlikte elektronik sağlık kayıtları, tele-sağlık uygulamaları ve mobil tabanlı çözümler; sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırmakta ve bakım süreçlerinin niteliğini güçlendirmektedir (Siriwardhana vd., 2021). Benzer biçimde robotik cerrahi ve yapay zekâ destekli görüntüleme sistemleri, klinik doğruluğu artırırken sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltma potansiyeli taşımaktadır (Kaul vd., 2020).
Dijital hastane uygulamalarının yaygınlaşması, hizmet süreçlerinin hızlanmasına, bilgi akışının daha güvenilir biçimde yürütülmesine ve verimlilik artışına katkı sağlamaktadır (Yelmen, 2016). Büyük veri analitiği, klinik karar destek sistemlerinin gelişimini hızlandırarak tanısal doğruluğu güçlendirmekte ve kaynak kullanımının daha etkin yönetilmesine yardımcı olmaktadır (Koyuncugil ve Özgülbaş, 2009). Tele-sağlık çözümleri, özellikle coğrafi uzaklıkların yarattığı erişim engellerini azaltarak kronik hastalıkların izlem ve yönetiminde önemli kolaylıklar sunmaktadır (Demirci, 2019). Bunun yanında yapay zekânın ilaç keşfi, epidemiyolojik tahmin ve genetik analiz alanlarında sağladığı hız ve doğruluk, sağlık araştırmalarında yeni olanakların ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır (Tari ve Arpacı, 2024).
Bununla birlikte, yapay zekâ ve dijitalleşmenin sağlık alanındaki yaygınlaşması; veri güvenliği ve mahremiyet, algoritmik şeffaflık, adalet ve sorumluluk paylaşımı gibi alanlarda önemli belirsizlikleri de gündeme getirmektedir (Reddy vd., 2020). Dijital ortamlarda depolanan hasta verilerinin siber tehditlere karşı kırılganlığı, hem güven hem de etik açıdan kritik riskler doğurabilmektedir (Dülger, 2021). Ayrıca teknolojik altyapı ve dijital okuryazarlık düzeyindeki eşitsizlikler, bireylerin ve ülkelerin dijital sağlık hizmetlerinden aynı ölçüde yararlanmasını güçleştirmekte; sağlık çalışanları arasında dijital beceri farklılıkları da yapay zekâ uygulamalarının etkin kullanımını sınırlayabilmektedir (Schiavone vd., 2021; Senbekov vd., 2020). Klinik uygulamalarda yapay zekâ temelli kararların sorumluluğunun nasıl

paylaşılacağına ilişkin hukuki tartışmalar ise sistemlerin güvenli biçimde ölçeklenmesi açısından ek bir zorluk alanı oluşturmaktadır (Mason, 2017).

Sonuç olarak sağlık hizmetlerinde yapay zekâ ve dijitalleşmenin sürdürülebilir ve güvenilir biçimde ilerleyebilmesi; etik ilkelerin güçlendirilmesi, güvenli veri yönetimi politikalarının uygulanması ve kapsayıcı bir teknolojik altyapının desteklenmesine bağlıdır (Kagadis vd., 2013). Sağlık çalışanlarının dijital okuryazarlığını ve uygulama yetkinliğini artırmaya yönelik eğitim programlarının yaygınlaştırılması, klinik süreçlerde yapay zekâ kullanımının daha etkin ve güvenilir hâle gelmesine katkı sağlayacaktır (Akalın ve Veranyurt, 2021). Bu koşulların sağlanmasıyla, yapay zekâ ve dijitalleşmenin sağlık sistemlerini daha erişilebilir, güvenli ve yüksek kaliteli bir yapıya dönüştürme potansiyeli güçlenecektir (Topol, 2019).

KAYNAKÇA

Abhinav, G., & Subrahmanyam, S. N. (2019). Artificial intelligence in healthcare. Journal of Drug Delivery and Therapeutics, 9(5-s), 164–166.

Ak, S. (2023). Dijital hastane dönüşümünde Türkiye. Güncel Sağlık Yönetimi, 1(1), 24-35.
Akalın, B. ve Veranyurt, Ü. (2020). Sağlıkta dijitalleşme ve yapay zekâ. SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi, 2(2), 128-137.

Akalın, B. ve Veranyurt, Ü. (2021) “Sağlık Hizmetleri ve Yönetiminde Yapay Zekâ”, Acta Infologica, 5(1), 231-240.

Akıncı, B. N., Danışan, T., & Eren, T., 2021, Hipertansiyon Hastaları İçin Giyilebilir Sağlık Teknolojileri Seçimi, Hacettepe University Faculty of HealtSciences Journal, 8 (2), 232-248

Alowais, S. A., Alghamdi, S. S., Alsuhebany, N., Alqahtani, T., Alshaya, A. I., Almohareb, S. N., ... & Albekairy, A. M., 2023, Revolutionizing Healthcare: The Role Of Artificial Intelligence In Clinical Practice, BMC Medical Education, 23 (1), 689.

Ardahan, M. ve Akdeniz, C. (2018). Mobil sağlık ve hemşirelik. Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi, 27(6), 427-433

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi. (2021). Dijital Avrupa Programını kuran ve (AB) 2015/2240 sayılı kararı yürürlükten kaldıran 2021/694 sayılı Tüzük. Avrupa Birliği Resmî Gazetesi, L 166, 1–21. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0694 (Erişim tarihi: 11.12.2025)

Awad, A., Trenfield, S. J., Pollard, T. D., Ong, J. J., Elbadawi, M., McCoubrey, L. E., ... ve Basit, A. W. (2021). Connected healthcare: Improving patient care using digital health technologies. Advanced Drug Delivery Reviews, 173, 113958.

Başol, E. (2015). Gelişmekte olan ülkelerde strateji: sağlık sisteminde sevk zinciri. Balkan Sosyal Bilimler Dergisi, 4(8).

Bener, A., Alayoglu, N., Çatan, F., Torun, P., & Yilmaz, E. S. (2019). Health services management in Turkey: Failure or success?. International journal of preventive medicine, 10.
Birinci, Ş. (2019). Sağlıkta yüksek teknoloji ve yapay zekâ. Sağlık Düşüncesi ve Tıp Kültürü Dergisi, 32-35.

Brundage, M., Avin, S., Clark, J., Toner, H., Eckersley, P., Garfinkel, B., ... & Amodei, D. (2018). The malicious use of artificial intelligence: Forecasting, prevention, and mitigation. ArXiv preprint arXiv:1802.07228.

Char, D. S., Shah, N. H., & Magnus, D. (2018). Implementing machine learning in health care—addressing ethical challenges. The New England journal of medicine, 378(11), 981.

Charalambous, A. (2024). Digital transformation in healthcare: Have we gone off the rails?. Asia-Pacific Journal of Oncology Nursing, 11, 100481, 1-3.

Chengoden, R., Victor, N., Huynh-The, T., Yenduri, G., Jhaveri, R. H., Alazab, M., ... ve Gadekallu, T. R. (2023). Metaverse for healthcare: A survey on potential applications, challenges and future directions. IEEE Access, 11, 12765–12778.

Çelik, İ. N., Arslan, FK, Tunç, R. ve Yıldız, İ., 2021, İlaç Keşfi ve Geliştirilmesinde Yapay Zekâ, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 45 (2), 400-427.

Çetin, G. (2024). Sağlık hizmetlerinde dijital dönüşüm ve sağlık bilgi teknolojilerinin yönetimdeki rolü. (Yayımlanmamış doktora tezi). Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul.

Dankwa-Mullan, I., Rivo, M., Sepulveda, M., Park, Y., Snowdon, J., & Rhee, K. (2019). Transforming diabetes care through artificial intelligence: the future is here. liebertpub.com, 22(3), 229–242. https://doi.org/10.1089/pop.2018.0129

Demirci, Ş., 2019, Sağlığın Dijitalleşmesi-Dıgıtalızatıon Of Health, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10 (26), 710-721.

Dülger, M. V., 2021, Kişisel Sağlık Verileri Hakkında Yönetmelik'e İlişkin Değerlendirme (Evaluation Regarding the Regulation on Personal Health Data).

Elayan, H., Aloqaily, M., ve Guizani, M. (2021). Digital twin for intelligent context-aware IoT healthcare systems. IEEE Internet of Things Journal, 8(1), 5143–5155.

Fogel, A. L., & Kvedar, J. C. (2018). Artificial intelligence powers digital medicine. NPJ digital medicine, 1(1), 1–4.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. 2016, Deep Learning, MIT Press, USA, ISBN: 026-2035-618

Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., … Webster, D. R. (2016). Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. JAMA, 316(22), 2402–2410. https://doi.org/10.1001/JAMA.2016.17216

Güzel, Ş., Dömbekci, H. A. ve Eren, F. (2022) "Yapay Zekânın Sağlık Alanında Kullanımı: Nitel Bir Araştırma", Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(4), 509-519.
Hirani, R., Noruzi, K., Khuram, H., Hussaini, A. S., Aifuwa, E. I., Ely, K. E., ... & Etienne, M., 2024, Artificial Intelligence and Healthcare: A Journey Through History, Present Innovations, and Future Possibilities, Life, 14 (5), 557.
http://sloanreview.mit.Edu/article/digital-transformation-on-purpose/ (Erişim Tarihi: 11.12.2025)

İbiş, S. (2018, 18 Aralık). Sağlık sektörünün geleceğinde yapay zekâ ve robotlar. MedicalsNews, http://www.medikalnews.com/saglik-sektorunungeleceginde-yapay-zeka-ve-robotlar/

İlgar, Y. (2022). Yaşlı bireylerde e-sağlık okuryazarlık düzeyi ve dijital sağlık hizmetlerinin kullanımı. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Hemşirelik Ana Bilim Dalı, Ankara.

Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., … Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future. Stroke and Vascular Neurology, 2(4), 230–243. https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101

Kagadis, G. C., Kloukinas, C., Moore, K., Philbin, J., Papadimitroulas, P., Alexakos, C., Nagy, P. G., Visvikis, D. ve Hendee, W. R. (2013) "Cloud Computing in Medical Imaging", Medical physics, 40(7), 70901.

Karslı, T. A., 2024, Yapay Zeka ve Bilinç: Anlamsal ve Duygusal/Heyecansal Boyutları Üzerinden Bir Değerlendirme, İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 13 (4), 192-213.

Kasapoğlu, A. (2016). Türkiye'de sağlık hizmetlerinin dönüşümü. Sosyoloji Araştırmaları Dergisi, 19(2), 131- 174.

Kaul, V., Enslin, S., & Gross, S. A. (2020). History of artificial intelligence in medicine. Gastrointestinal endoscopy, 92(4), 807-812.

Kermany, D. S., Goldbaum, M., Cai, W., Valentim, C. C. S., Liang, H., Baxter, S. L., … Zhang, K. (2018). Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by ImageBased Deep Learning. Cell, 172(5), 1122-1131.e9. https://doi.org/10.1016/J.CELL.2018.02.010

Kılıç, T., & Tosun, N., 2021, Akıllı Sağlık Ekosistemi ve Güncel Uygulama Örnekleri, İşletme Bilimi Dergisi, 9 (3), 543-564.

Kingston, A., Robinson, L., Booth, H., Knapp, M., & Jagger, C. (2018). Projections of multimorbidity in the older population in England to 2035: estimates from the Population Ageing and Care Simulation (PACSim) model., 47(6), 374–380.

Koyuncugil, A., & Özgülbaş, N., 2009, Veri Madenciliği: Tıp ve Sağlık Hizmetlerinde Kullanımı ve Uygulamaları, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 2 (2).

Liu, A. (2019). Transforming Healthcare with Big Data and AI. Information Age Publishing.
Maglaras, L., Ferrag, M. A., ve Almomani, I. (2023). Digitization of healthcare sector: A study on privacy and security concerns. ICT Express, 9, 571–588.

Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. Futures, 46–60. https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006

Mason, R. O. (2017). Four ethical issues of the information age. In Computer ethics (pp. 41-48). Routledge.

Massaro, M. (2021). Digital transformation in the healthcare sector through blockchain technology: Insights from academic research and business developments. Technovation, 102386.

Merih, Y. D., Ertürk, N., Yemenici, M., & Satman, İ., 2021, Evde Sağlık Hizmetlerinde Teknoloji Kullanımı, Türkiye Sağlık Enstitüleri Başkanlığı Dergisi, 4 (3), 76-89.

Mızrak, H., & Aslan, S., 2023, Hastaların Elektronik Sağlık Kayıt (ESK) Sistemleri için Güvenli Blok Zincir Destekli Bulut Sistemi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 35 (2), 517-526.

N. Bostrom, E. Yudkowsky. (2011). The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence. Cambridge: Cambridge University Press.

Ng, I., & Wakenshaw, S. (2018). Service ecosystems: a timely worldview for a connected, digital and data-driven economy. Handbook of Service-Dominant Logic. Thousand Oaks, CA: SAGE.

Nordlinger B., Villani C., Rus D,. (2020). Healthcare and Artificial Intelligence.
Özdemir, P. (2022). Sağlık hizmetlerinde dijital dönüşüm ve Türkiye örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Maliye Ana Bilim Dalı, İzmir.

Özen, H. (2021). Dijital sağlık hizmetlerinin sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından değerlendirilmesi. OPUS International Journal of Society Researches, 17(38), 5440-5472.

Paul, M., Maglaras, L., Ferrag, M. A., & Almomani, I. (2023). Digitization of healthcare sector: A study on privacy and security concerns. *ICT express*, *9*(4), 571-588.

Poole, D., Mackworth, A., & Goebel, R. (1998). Computational Intelligence.

Ramezani, M., Takian, A., Bakhtiari, A., Rabiee, H. R., Fazaeli, A. A., & Sazgarnejad, S. 2023, The Application of Artificial Intelligence in Health Financing: A Scoping Review, Cost Effectiveness and Resource Allocation, 21 (1), 83.

Reddy, S., Fox, J., & Purohit, M. P. 2019 Artificial Intelligence-Enabled Healthcare Delivery Journal of the Royal Society of Medicine, 112 (1), 22-28.

Richardson, S., Lawrence, K., Schoenthaler, A. M., ve Mann, D. (2022). A framework for digital health equity. npj Digital Medicine, 5(119).

Russell, S. J., & Norvig, P. (2022). Artificial intelligence: a modern approach (4. Edition). Pearson.

Russell, S., & Norvig, P. 2020, Artificial Intelligence: A Modern Approach 4th ed., Pearson, London, ISBN: 013-4610-997

Saeed, S. A., ve Masters, R. M. (2021). Disparities in healthcare and the digital divide. Current Psychiatry Reports, 23, 61.

Sağlık Bakanlığı. (2016). Dijital hastane. 10.12.2025 Tarihinde https://dijitalhastane.saglik.gov.tr/adresinden erişildi

Sağlık Bakanlığı. (2018). Tam Donanımlı Dijital Hastane Kılavuzu. Erişim adresi https://dijitalhastane.saglik.gov.tr/Eklenti/23473/0/tam-donanimli-dijital-hastane-kilavuzupdf.pdf (Erişim Tarihi: 11.12.2025)

Savić, D. (2019). From Digitization, through Digitalization, to Digital Transformation. Online searcher, 43(1), 36–39.

Schiavone, F., Mancini, D., Leone, D., ve Lavorato, D. (2021). Digital business models and ridesharing for value co-creation in healthcare: A multi-stakeholder ecosystem analysis. Technological Forecasting and Social Change, 166, 120647.

Senbekov, M., Saliev, T., Bukeyeva, Z., Almabayeva, A., Zhanaliyeva, M., Aitenova, N., ... & Fakhradiyev, I. (2020). The recent progress and applications of digital technologies in healthcare: a review. International journal of telemedicine and applications, 2020(1), 8830200.

Siala, H., & Wang, Y., 2022, Shıfting Artificial Intelligence to Be Responsible ın Healthcare: A Systematic Review, Social Science & Medicine, 296, 114782.

Siriwardhana, Y., Gür, G., Ylianttila, M., ve Liyanage, M. (2021). The role of 5G for digital healthcare against COVID-19 pandemic: Opportunities and challenges. ICT Express, 7, 244–252.

Stoumpos, A. I. Kitsios, F. ve Talias, M. A. (2023). Digital transformation in healthcare: technology acceptance and its applications. International journal of environmental research and public health, 20(4), 3407, 1- 44.
Sun, T. Q., & Medaglia, R. (2019b). Mapping the challenges of Artificial Intelligence in the public sector: Evidence from public healthcare. Government Information Quarterly, 36(2), 368-383. https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.008

Tarcan, G. Y., Balçık, P. Y. ve Sebik, N. B. (2024) "Türkiye ve Dünyada Sağlık Hizmetlerinde Yapay Zekâ", Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 14(1), 50-60.

Tari, Ö., & Arpacı, N., 2024, İlaç Tasarımında Yapay Zekâ Uygulamaları, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 48 (1), 327-365.

Topol, E. J., 2019, High-Performance Medicine: The Convergence Of Human and Artificial Intelligence, Nature Medicine, 25 (1), 44-56.

Tran, B. X., Vu, G. T., Ha, G. H., Vuong, Q. H., Ho, M. T., Vuong, T. T., ... & Ho, R. C., 2019, Global Evolution of Research in Artificial Intelligence in Health and Medicine: A Bibliometric Study, Journal of Clinical Medicine, 8 (3), 360.

Turing, A. 1950, Computing Machinery and Intelligence. Mind, 59 (236), 433-460.
Unruh, G., & Kiron, D. (2017). Digital Transformation on Purpose.

Uysal, B. ve Semiz, T. (2022). Sağlık hizmetlerinde dijitalleşme ve geleceği. Ankara: İksad Yayınevi.

Uysal, B. ve Ulusinan, E. (2020) "Güncel Dijital Sağlık Uygulamalarının İncelenmesi", Selçuk Sağlık Dergisi, 1(1), 46-60.

Uzun, T., 2020, Yapay zeka ve Sağlık Uygulamaları, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3 (1), 80-92.

Verma, I., Krishna, K. R., Sen, D., & Prasad, J. K., 2021, Artificial İntelligence On Future Aspects (How AI Will Impact in 2030), Psychology and Education Journal, 58 (2), 401 414.

Wang, Q., Su, M., Zhang, M., ve Li, R. (2021). Integrating digital technologies and public health to fight COVID-19 pandemic: Key technologies, applications, challenges, and outlook of digital healthcare. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(6053).

Ward, R., Stevens, C., Brentnall, P. and Briddon, J. (2008). The Attitudes of Health Care Staff to Information Technology: A Comprehensive Review of the Research Literatüre. Health Information and Libraries Journal, 25(2), 81–97.

Yang, D., Karimi, H. R., Kaynak, O., ve Yin, S. (2021). Developments of digital twin technologies in industrial, smart city, and healthcare sectors: A survey. Complex Engineering Systems, 1(3).

Yazdi, M., Zarei, E., Adumene, S., & Beheshti, A., 2024, Navigating the Power of Artificial Intelligence in Risk Management: A Comparative Analysis, Safety, 10 (2), 42.

Yelmen, A. (2016). Klinik bilgi sistemlerine ilişkin lisans sözleşmeleri hakkında değerlendirmeler İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 7(2), 365-382.

Yelmen, A., 2023, Kişisel Sağlık Verilerinin Elektronik Ortamda işlenmesi Üzerine Bir Değerlendirme, Erciyes Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 18 (2), 743-806.

The Role of Corporate Leadership in Occupational Health and Safety: A Safety-Oriented Management Approach

Dr. Evin MİSER[1] **Dr. Cihan Serhat KART[2]**

Abstract

In today's business environment, Occupational Health and Safety (OHS) has evolved beyond being a technical process focused solely on compliance with legal requirements and has become an integral component of organizational culture and strategic management. Contrary to traditional approaches, modern OHS management necessitates a proactive (preventive) and cultural transformation rather than reactive (post-incident) measures. At the center of this transformation lies corporate leadership, which elevates safety from a mere "set of rules" to a core organizational "value."

This paper examines the critical role of corporate leadership in enhancing OHS performance and the fundamental dynamics of a safety-oriented management approach. Within this framework, with reference to the leadership and commitment clauses of modern standards such as ISO 45001, it is emphasized that top management should act not only as providers of resources but also as active drivers of the process. In particular, the impact of the synthesis of professional will and humility embodied in the "Level 5 Leadership" model on sustainable success and safety culture is discussed. Moreover, the role of inclusive leadership that establishes an environment of "psychological safety," in which employees can report errors without fear, and proactive leadership models capable of anticipating crises, is analyzed in the context of accident prevention.

Based on the fact that occupational accidents largely stem from human behaviors, the paper also focuses on how leaders should internalize a behavior-based safety approach. Leaders who "walk the talk" by acting as role models and actively promoting safe behaviors emerge as the most influential factor in the formation of a positive safety culture. In conclusion, this study demonstrates that safety leadership is a strategic tool that goes beyond legal compliance by increasing employee engagement, strengthening organizational resilience, and enabling organizational transformation toward achieving the goal of "zero accidents."

Keywords: Safety Leadership, OHS Culture, Proactive Management, Level 5 Leadership, ISO 45001.

1 Lecturer Ankara University, Ayaş Vocational School orcid: 0000-0002-7855-4703 mail:evinmiser@gmail.com,

2 Assistant Profesor Ankara University Ayaş Vocational School orcid Id: 0000-0003-1941-349X mail: serhatcika@gmail.com

The Transformation of Training Processes in Occupational Health and Safety: Digitalization and Next-Generation Learning Models

Dr. Evin MİSER[1] **Dr. Cihan Serhat KART**[2]

Abstract

While the Industry 4.0 process and digitalization dynamics are fundamentally transforming production systems, they have also necessitated a paradigm shift in Occupational Health and Safety (OHS) practices, which constitute one of the most critical components of working life. Traditional OHS training models, which are based on theoretical knowledge transfer, offer limited interaction and do not allow physically experiencing hazardous scenarios, often prove insufficient in fostering proactive risk management and sustainable behavioral change. This study aims to examine the integration of the digital transformation shaped around the concept of OHS 4.0 into training processes, the next-generation technologies employed, and the effects of this transformation on employee competence.

Within the scope of the study, the applicability and effectiveness of technologies such as Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Artificial Intelligence (AI), and Distance Learning Management Systems in OHS training are discussed within the framework of a literature review and regulatory analysis. Research indicates that VR- and AR-based simulations enable employees to experience hazardous situations—such as working at height or fire scenarios—within a "safe virtual environment," increasing knowledge retention rates to approximately 70% and strengthening the "learning by doing" model. In addition, it is emphasized that AI-supported systems produce more effective outcomes than traditional methods in developing personalized training content and identifying learning gaps, optimize training durations, and enhance employee motivation.

It is observed that the legal infrastructure in Türkiye has also adapted to digitalization, as amendments to the "Regulation on the Procedures and Principles of Occupational Health and Safety Training of Employees" have established a legal basis for distance learning models, particularly for low-risk classes and theoretical refresher training. However, during this digital transition process, new challenges that must be managed have emerged, including deficiencies in technology literacy, data security concerns, cybersecurity risks, and psychosocial risk factors such as social isolation. In conclusion, digitalization in OHS training is not merely a technological shift in tools; rather, it is a strategic necessity for building a data-driven, measurable, and sustainable safety culture. The success of this transformation depends not only on hardware investments but also on high-quality content design, user-friendly interfaces, and the digital vision of top management.

Keywords: OHS 4.0, Digitalization, Virtual Reality (VR), Distance Learning, Artificial Intelligence, Safety Culture.

1 Lecturer Ankara University, Ayaş Vocational School orcid: 0000-0002-7855-4703 mail:evinmiser@gmail.com,

2 Assistant Profesor Ankara University Ayaş Vocational School orcid Id: 0000-0003-1941-349X mail: serhatcika@gmail.com

HAVACILIK OPERASYONLARINDA EMNİYET KÖRLÜĞÜ: ALGI–DAVRANIŞ KOPUKLUĞUNUN EMNİYET BOYUTU

Öğr. Gör. Dr. Begüm Buse SERTGÖZ
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi/ Gazipaşa M. Rahmi Büyükballı MYO.
begum.sertgoz@alanya.edu.tr - 0009-0006-5531-9889

Dr. Öğr. Üyesi. Armağan MACİT
Ege Üniversitesi/Havacılık MYO.
armagan.macit@ege.edu.tr - 0000-0002-5694-8285

ÖZET

Havacılık sektöründe emniyet yönetim sistemi gelişmiş teknolojiler, standartlaşmış prosedürler ve kapsamlı raporlama sistemleriyle desteklenmektedir. Tüm tedbirlere rağmen operasyonel risklerin varlığını sürdürdüğü ve emniyete ilişkin davranışlarda beklenen düzeyde bir dönüşümün gerçekleşmediği görülmektedir. Bu durum, emniyete ilişkin uyarı ve göstergelerin operasyonel uygulamalara her zaman yansımadığını ve risklerin örgütsel düzeyde zamanla görünürlüğünü kaybettiğini düşündürmektedir. Literatürde bu süreç, normalleşmiş sapma ve sistemsel körlük kavramlarıyla açıklanmaktadır. Bu çalışmada havacılık operasyonları özelinde emniyet körlüğü kavramını merkezine almaktadır. Çalışmada, emniyet körlüğünün operasyonel yansımalarını inceleyerek, algısal farkındalık ile emniyet davranışı arasındaki kopukluğu havacılık operasyonları bağlamında kavramsal olarak ele almak amaçlanmaktadır. Havacılık operasyonlarında emniyete ilişkin uyarı ve göstergelerin emniyet davranışına dönüşmesinde ortaya çıkan kopukluğu ve sebeplerinin ortaya konması hedeflenmektedir. Nitel ve kuramsal bir yaklaşımla yürütülen çalışma, insan faktörleri ve emniyet yönetimi literatürünün bütüncül bir değerlendirmesine dayanmaktadır. Araştırma sonucunda, mevcut çalışmaların ağırlıklı olarak algısal farkındalık, durum farkındalığı veya alarm yönetimi gibi bileşenlere odaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Literatürde emniyet körlüğünün operasyonel davranışlar boyutunda, emniyet yönetimi süreçleri ile ele alınarak sınırlı ölçüde incelendiği görülmüştür. Bu bağlamda, emniyet yönetimi uygulamalarının operasyonel davranışa yansıyacak biçimde yeniden yapılandırılması gerekliliğinin bulunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Emniyet Körlüğü, Havacılık Operasyonları, Emniyet Davranışı, İnsan Faktörleri.

TEL EROZYONLA İŞLEMEDE (WEDM) ENERJİ TÜKETİMİNİN ÖNEMİ

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY
Karabük University
mgunay@karabuk.edu.tr - 0000-0002-1281-1359

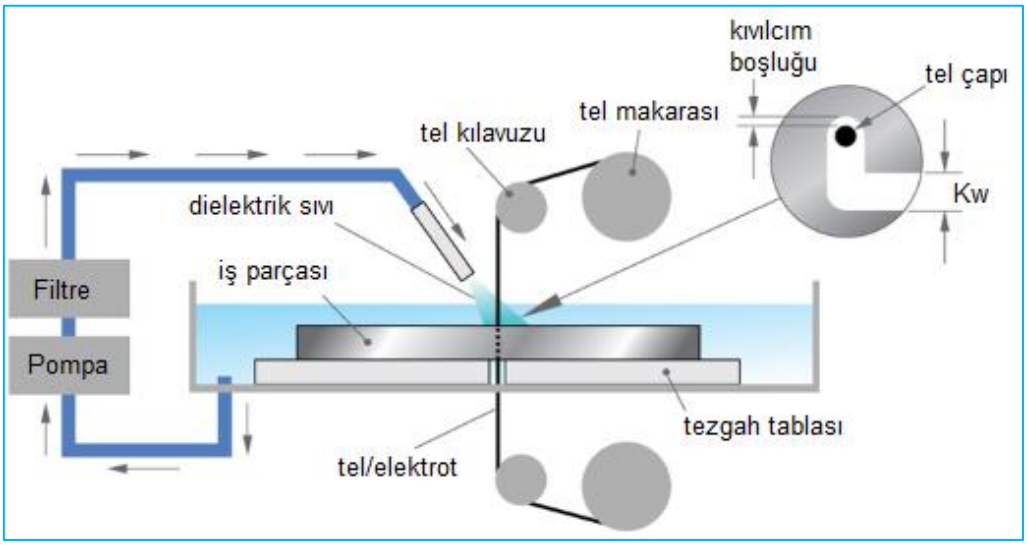
ÖZET

Sürdürülebilirliğe katkı verilmesi için işleme yöntemlerinde, malzeme kaldırma hızı, yüzey kalitesi, ölçü tamlığı gibi geleneksel performans ölçütlerinin yanı sıra, eko-verimliliğin temel bir göstergesi olan enerji tüketiminin önemi giderek artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, işlenmesi zor malzemelerden karmaşık geometrili ve yüksek hassasiyet gerektiren parçaların üretiminde tercih edilen tel erozyonla işlemede (WEDM) enerji tüketiminin kritik rolünü incelemektedir. Bu bağlamda, WEDM sürecinin enerji profili sistematik olarak incelenmiş ve enerji tüketimini etkileyen tüm faktörler (elektriksel, tel ve hidrodinamik parametreler) detaylı olarak analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (SR), malzeme kaldırma hızı (MRR) ve kesme genişliği (Kw), enerji tüketimi (Ec) gibi performans ölçütlerinin iyileştirilmesi için parametre optimizasyonu ve özellikle güç taleplerini tahmin ederek enerji tasarrufu ve emisyon azaltımını sağlamak için Ec modellerinin gerekliliği vurgulanmaktadır. Araştırmalar, WEDM sürecinde harcanan enerjinin %50'den fazlasının kesme sırasında değil yardımcı işlemlere harcandığını göstermektedir. Bu sebeple, enerji tüketimi modellerinde, vurum süresi (Ton), servo voltajı (SV), vurum aralığı (Toff), tepe akımı (Ip), tel gerilimi (Wt) ile dielektrik sıvı ve tel/elektrot ekipmanları gibi elektriksel olmayan parametrelerin dikkate alınmasına işaret etmektedir. Aynı zamanda, yüksek verimlilik için yapay zeka tabanlı algoritmalar (bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları vb.) ile gri ilişki analizi ve parçacık sürü optimizasyonu gibi çok amaçlı optimizasyon tekniklerinin uygulanması önerilmektedir. Sonuç olarak, enerjiye duyarlı modelleme ve bütünleşik optimizasyon stratejilerinin entegrasyonunun, WEDM'yi daha sürdürülebilir bir üretim sürecine dönüştürdüğü görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: WEDM, Enerji Tüketimi, Parametre Optimizasyonu, Sürdürülebilirlik

1. GİRİŞ

Günümüzde, imalat sektörünün rekabetçi yapısı sürekli olarak yüksek verimlilik, üstün kalite ve düşük maliyet gerektirmektedir. Geleneksel işleme yöntemlerinin zorlandığı sert, karmaşık geometrili ve yüksek hassasiyet gerektiren malzemelerin işlenmesinde geleneksel olmayan imalat yöntemleri ön plana çıkmıştır [1]. Bu yöntemler arasında, tel erozyonla işleme (WEDM) tekniği, çelik, nikel, tungsten, kübik bor nitrür, metal matris kompozitleri, süper alaşımlar ve seramik malzemeler de dahil olmak üzere çeşitli sert malzemelerin işlenmesinde kullanılan ve hızla gelişen bir üretim sürecidir. Dahası, çeşitli geleneksel işleme süreçleriyle mümkün olmayan karmaşık profillerin ve sertleştirilmiş malzemelerin mikro işlenmesinde de kullanılır [2]. WEDM, işlenen parça ve tel elektrot arasındaki boşlukta oluşturulan kontrollü elektriksel deşarjlar (kıvılcımlar) vasıtasıyla malzeme çıkaran, dielektrik yıkama ile kolaylaştırılan bir termo-elektrik işlemdir. Her kıvılcım, iş parçasının birkaç mikrometre kalınlığındaki küçük bir miktarını eritir ve buharlaştırır. Bu yöntemde, elektrot 0.05–0.3 mm çapında Cu alaşımı veya molibdenden yapılmış ince ve iletken bir teldir ve sürekli olarak bir tel sarma tekerleği tarafından beslenir. Elektrot telinin hareketi, iş parçasının istenen şeklini elde etmek için sayısal olarak kontrol edilir [3]. Görsel 1'de WEDM sürecinde kesme işlemi şematik olarak gösterilmiştir. WEDM işleminin şematik bir diyagramını göstermektedir. Bu temassız işleme sürecinde, parametreler optimize edildiğinde malzeme sertliğinden bağımsız olarak yüksek boyutsal tamlık ve üstün yüzey kalitesine ulaşılabilir.



Görsel 1. WEDM'de kesmenin şematik gösterimi

WEDM'de elektriksel ve/veya elektriksel olmayan vurum süresi ve vurum aralığı, deşarj akımı, tel hızı, ilerleme hızı dielektrik sıvı basıncı gibi parametreler malzeme kaldırma hızı (MRR), yüzey pürüzlülüğü, ölçü tamlığı gibi performans göstergeleri arasındaki etkileşim çok karmaşık olduğundan istenilen kalitede parçanın üretimi için parametrelerin optimizasyonu ve/veya bahsedilen göstergelerin modellenmesi önemli bir ihtiyaçtır [4,5]. Diğer yandan, modern imalat sanayinin karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan birisi de sürdürülebilirlik ve çevre dostu üretim ilkelerine uyum sağlamaktır. Bu noktada, sürdürülebilir üretim, imalat, makine mühendisliği, malzeme bilimi, çevre bilimi ve enerji bilimi gibi çeşitli alanlarda büyük önem

kazanmıştır. Araştırmacılar, yenilenebilir enerji veya enerji verimli ve minimum atık üreten süreçler kullanarak çevre dostu üretim süreçleri için yollar aramaktadır [6]. Artan enerji maliyetleri ve küresel iklim değişikliği endişeleri, imalat süreçlerindeki enerji tüketimini kritik bir performans göstergesi haline getirmiştir. Enerji tüketimi, süreç planlaması ve üretim programlamasının entegrasyonu için bağımsız bir optimizasyon hedefi olarak kullanılabilir. Düşük karbonlu imalat için süreç planlaması ve üretim programlamasının entegrasyonu, işleme ve imalat sürecinde enerji tüketiminin optimizasyonunun yanı sıra üretim operasyonlarının iyileştirilmesine de yardımcı olur [7]. İleri imalat süreçlerinde enerji tüketiminin azaltılması, daha ekonomik, sürdürülebilir ve çevre dostu imalat yaklaşımlarına olanak sağladığı için Endüstri 4.0 ve yakında çıkacak olan Endüstri 5.0 için kritik öneme sahiptir. İmalatta çeşitli proses parametrelerinin etkisini tahmin etmek ve tüketimi nicelleştirmek için bir enerji tüketim modeline ihtiyaç duyulmaktadır [8]. WEDM, temelde elektriksel deşarjlara dayandığı için yüksek miktarda elektrik enerjisi tüketen bir süreçtir. Bu enerji, deşarjlar, servo motorlar, dielektrik sıvı sirkülasyonu, soğutma sistemleri ve kontrol üniteleri tarafından kullanılır [9].
İşleme yöntemlerinde genellikle malzeme kaldırma hızı (MRR), takım ömrü ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) gibi geleneksel performans göstergeleri değerlendirilse de güncel araştırmalar bu çıktılara enerji tüketimi (Ec) ve karbon ayak izi gibi sürdürülebilirlik göstergelerinin de eklenmesinin zorunluluğunu ortaya koymuştur [10]. Ayrıca, tel hasarı ve bükülme olasılığı, sürecin maksimum potansiyelini ciddi şekilde engelleyerek WEDM işleminin hassasiyetini ve etkinliğini azaltabilmektedir. Bu nedenle, işleme yeteneklerini genişletmek ve işleme verimliliğini artırmak için mevcut WEDM özelliklerinde sürekli iyileştirmeler yapılması gerekmektedir [4]. Bu bağlamda, enerji maliyetleri toplam üretim maliyetinin önemli bir bileşenini oluşturmakta olup, enerji verimliliğini sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik açısından da bir zorunluluk haline getirmektedir.

Bu derleme makalede, WEDM süreçlerinde enerji tüketiminin öneminin incelenmesi, enerji tüketimini etkileyen kritik işleme parametrelerinin analizi ve parametre optimizasyonu yoluyla enerji verimliliğini artırma stratejilerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu süreçte, WEDM'nin yüksek hassasiyetli işleme kabiliyetini korurken, çevresel ve ekonomik etkisini en aza indiren sürdürülebilir imalat yöntemlerine geçişe katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

2. WEDM PARAMETRELERİ VE OPTİMİZASYONU

WEDM, çok sayıda kontrol edilebilir değişkeni içeren bir süreçtir. İşleme kalitesi, malzeme kaldırma hızı, yüzey kalitesi ve verimlilik doğrudan operatör tarafından belirlenen işleme parametrelerine bağlıdır. Bu parametreler, elektriksel parametreler, tel parametreleri ve hidrodinamik parametreler olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir.

2.1. İşleme Parametreleri ve Etkileri

Elektriksel parametreler, WEDM sürecindeki enerji alışverişini ve deşarjların karakteristiğini doğrudan belirler. Bunlar arasında en kritik olanları şunlardır:

- Vurum Süresi (Ton): Bu, elektrik darbesinin uygulandığı süre olup, malzeme erimesi ve buharlaşması için kıvılcım aralığına salınan enerji miktarını belirler. Daha uzun bir Ton, kıvılcım başına enerjiyi artırır, genellikle daha yüksek MRR'ye yol açar ancak aynı zamanda daha büyük krater boyutlarına, yüzey pürüzlülüğünün kötüleşmesine ve

özgül enerji tüketiminin (SEC) önemli ölçüde artmasına neden olur. Çalışmalar, Ton'u enerji tüketimi üzerinde en derin istatistiksel etkiye sahip parametre olarak tutarlı bir şekilde tanımlamaktadır [9, 11].

- Vurum aralığı (Toff): Bu, ardışık darbeler arasındaki gerekli süredir ve dielektrik sıvının aralıktan döküntüleri temizlemesine ve yalıtım gücünü geri kazanmasına olanak tanır. Toff'u en aza indirmek, işleme frekansını artırır. Bu durum, MRR'yi artırabilir ancak döküntüler etkili bir şekilde temizlenmezse işlem kararsızlığı (ark oluşumu ve tel kırılması) ve enerji israfı riski taşır. Deşarj frekansını en üst düzeye çıkarırken işlem kararlılığını korumak için Toff'u optimize etmek, enerji verimliliğini artırmak için çok önemlidir [12,13].
- Boşluk Voltajı (Vg): Deşarjlar sırasında tel ile iş parçası arasındaki potansiyel farkıdır. Boşluk voltajı, kıvılcım başlatma süresini ve deşarjın toplam enerjisini etkiler. Vg'nin artırılması, MRR'yi optimum bir noktaya kadar iyileştirebilir ancak, jeneratör ve yardımcı sistemler tarafından çekilen gücü doğrudan etkileyerek genel enerji profilini etkiler [14,15].
- Tepe Akımı (Ip): Her darbe sırasındaki maksimum akım seviyesidir. Ip ve Ton çarpımı, tek bir deşarjın enerji içeriğini büyük ölçüde belirler. Yüksek Ip, MRR'yi artırır ancak yüzey kalitesini olumsuz etkiler [16].

Tel parametreleri, telin malzemesi (Cu ve alaşımları, Mo veya kaplamalı teller), çapı ve tel gerilimi (wire tension), tel besleme hızı gibi unsurları içerir. Nispeten daha düşük tel besleme hızı ve daha yüksek tel geriliminin kesilen profil hassasiyetini iyileştirdiği, ancak WEDM yöntemiyle daha ince kesitlerin işlenmesinde bu eğilimler belirgin olmadığı belirtilmiştir [17]. Tel çapı, hem kesme/işleme hızı hem de telin kopma direnci açısından kritiktir. WEDM'de daha küçük çaplı tellerin kullanılması, verimliliği artırırken hassasiyeti de yükseltmiş, tel ve iş parçası atıklarını ve çevresel etkileri azaltmaktadır [18].

Hidrodinamik parametreler, dielektrik sıvının türü (deiyonize su, gazyağı, su+yağ karışımları gibi), akış hızı, yıkama biçimi ve basıncını kapsar. Tel erozyonla işleme performans özelliklerinin hem üst hem de alt nozullardan toplam akış hızının ve geniş mesafeli nozuldan akış hızının artırılmasıyla iyileştirilebileceği bulunmuştur. Etkili bir dielektrik yıkama, deşarj kalıntılarını (talaşlar) hızla uzaklaştırarak ikincil deşarjları ve tel kırılmasını önler, bu da kararlı bir işleme için hayati öneme sahiptir [19,20].

2.2. Parametre Optimizasyonu

WEDM'de, genellikle yüksek MRR ve düşük Ra gibi çelişkili performans göstergeleri hedeflenir. Yüksek MRR için seçilen parametreler genellikle yüzey kalitesini düşürür. Parametre optimizasyonu, bu çelişkili hedeflerin dengelenmesi ve istenen çıktıların (MRR, Ra, Ec vb.) en iyi kombinasyonunun elde edilmesi sürecidir. Bu bağlamda, geleneksel tek-hedefli optimizasyon yaklaşımlarının yerini, son yıllarda çok amaçlı optimizasyon teknikleri almıştır [21, 22]. Bu yöntemler, MRR'yi maksimize etme, Ra'yı minimize etme ve enerji tüketimini (Ec) minimize etme gibi birden fazla hedefi eş zamanlı olarak değerlendirir. Parametre optimizasyonu için kullanılan popüler teknikler şunlardır:

- Taguchi esaslı gri ilişki analizi (TGRA): Parametrelerin çıktı üzerindeki etkilerini analiz etmek ve gürültü faktörlerine karşı güçlü parametre kombinasyonlarını bulmak için kullanılır. Taguchi yöntemi tek-hedefli optimizasyon yaklaşımı olduğundan, imalat yöntemleri için çok amaçlı optimizasyonda en yaygın uygulanan teknik TGRA yöntemidir.

- Tepki yüzeyi metodolojisi (RSM): Matematiksel modeller oluşturarak parametreler ve performans göstergeleri/çıktılar arasındaki ilişkiyi inceler ve optimum sonuçları tahmin eden tek-hedefli bir optimizasyon yöntemidir.
- Yapay zeka tabanlı algoritmalar ve diğerleri: Bunlar arasında, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar daha çok tercih edilen yöntemlerdir. Bunların dışında temel bileşen analizi (PCA), arzu edilebilirlik fonksiyonu, parçacık sürü optimizasyonu teknikleri diğer çok amaçlı optimizasyon teknikleridir. Karmaşık ve doğrusal olmayan WEDM süreçlerini modellemek ve küresel optimum çözümü bulmak için giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Bir çalışmada, ekonomik ve çevresel yönleri yansıtan malzeme kaldırma oranı (MRR) ve güç tüketimi, yanıt parametreleri olarak ele alınmıştır. MRR ve enerji tüketiminin, vurum süresinin (Ton) artmasıyla arttığı ve servo voltajının artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir. Tel geriliminin Ec üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, ancak MRR'yi artırdığı görülmüştür [23,24]. Bu tür çalışmalar, geleneksel verimlilik ölçütlerinin (sadece MRR) yetersiz kaldığını ve enerji bilinciyle optimize edilmiş parametre setlerinin hem maliyet hem de çevre açısından üstün olduğunu kanıtlamaktadır.

3. ENERJİ TÜKETİMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

İmalat süreçlerinde enerji tüketimi, işletme maliyetlerinin yanı sıra, çevresel etkileri (özellikle sera gazı emisyonları) yüzünden önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. WEDM, yüksek hassasiyetli bir termal işleme yöntemi olması nedeniyle, diğer bazı imalat yöntemlerine göre birim malzeme kaldırma başına daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olabilir. Günümüzde, toplam enerji tüketiminin %90'ı imalat süreçlerinde gerçekleşmekte ve CO2 emisyonunun %36'sı takım tezgahlarından kaynaklanmakta olup, verimli enerji modellerinin eksikliği yüzünden bu tezgahların tükettiği gerçek enerji miktarı bilinmemektedir [25,26].

Sürdürülebilirlik açısından, yüksek enerji tüketimi, atık dielektrik sıvının ayrışması ve zehirli gazlar/buharlar gibi çevresel hususlar araştırmacıların dikkatini gerektirmektedir. Birçok bilim insanı, verimli ve çevre dostu bir süreç haline getirmek için çeşitli EDM süreçlerini araştırmıştır. Süreç mekanizmasının geliştirilmesi ve yeşil EDM stratejileriyle ilgili bazı önemli sorunlar vardır: 1) EDM yağı ile işleme sırasında oluşan zehirli buharlar nedeniyle çevre ve operatör riski, 2) İşleme sonrası EDM yağının ayrışması, 3) EDM düzeneği tarafından tüketilen büyük miktarda güç, 4) Sert malzemelerin işlenmesi için işlem süresinin çok uzun olması [27].

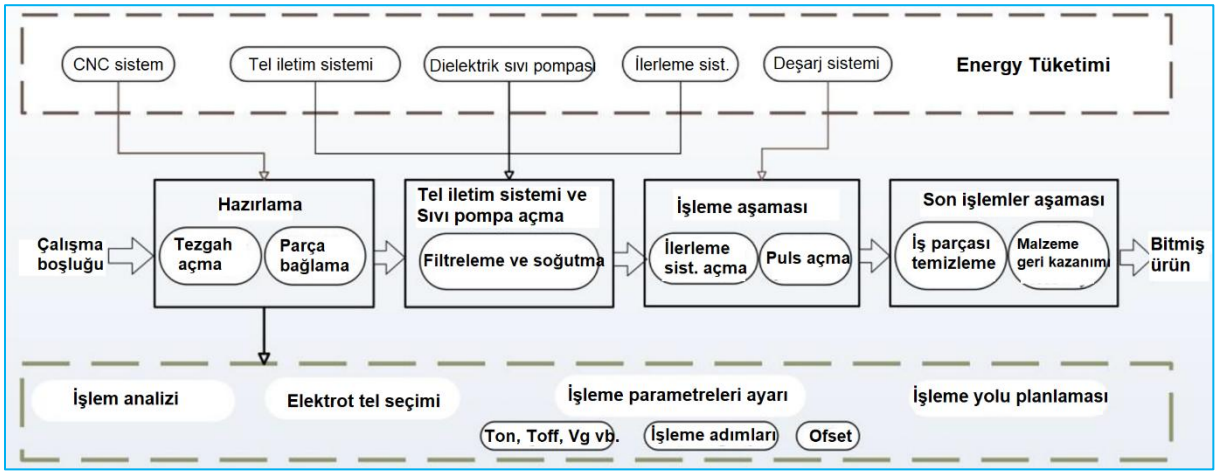
3.1. WEDM'de Enerji Tüketimi Kaynakları

WEDM makineleri için toplam enerji tüketimi (Ec) temel olarak üç ana bileşene ayrılabilir:

1- Temel tüketim (Standby/Idle): Makine çalışır durumda ancak işleme yapılmazken tüketilen enerji (kontrol üniteleri, sürekli çalışan soğutma ve havalandırma sistemleri).
2- Yardımcı sistemler tüketimi: İşleme sırasında sürekli aktif olan yardımcı sistemlerin tükettiği enerji olup, dielektrik pompa ve sirkülasyon sistemi, soğutma ünitesi, tel sürme mekanizması, CNC eksen motorları vb. sistemleri içermektedir.
3- İşleme tüketimi (Deşarj enerjisi): Asıl malzeme kaldırma işlemini gerçekleştiren elektriksel deşarjların tükettiği enerjidir. Bu tüketim, Ton, Ip ve Vg gibi elektriksel parametrelere doğrudan bağlıdır.

Takım tezgahlarında enerji minimizasyonuna yönelik tüm teknikler, makinenin kararlı durum enerji tüketimini dikkate alırken, makinenin geçici enerji tüketimini göz ardı etmektedir. Makine çalışma sırasında sürekli olarak bir kararlı durumdan diğerine geçtiği için geçici enerji tüketimi göz ardı edilemez. Ancak, operasyonel düzeyde enerji minimizasyonuna yönelik tüm araştırmalar, takım tezgahlarının geçici enerji tüketimi yönünü göz ardı etmiştir [26].

Yapılan analizler, toplam enerji tüketiminin büyük bir kısmının (%70'e kadar) yardımcı sistemlerin enerji tüketimi ve temel tüketimden kaynaklandığını göstermektedir. Özellikle dielektrik sıvının yüksek basınçta sirkülasyonunu sağlayan pompalar ve soğutma üniteleri önemli enerji tüketicileridir. Bu durum, enerji verimliliği çalışmalarının sadece deşarj parametrelerini değil, aynı zamanda makinenin yardımcı sistemlerinin tasarım ve işletmesini de hedeflemesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Görsel 2'de WEDM de enerji tüketimi oluşturan tüm bileşenler gösterilmiştir [28].



Görsel 2. WEDM'de enerji tüketim faktörleri

3.2. Sürdürülebilir İmalat için Enerji Optimizasyonu

Sürdürülebilir imalat, çevresel etkileri en aza indirirken, ekonomik ve sosyal faydaları maksimize eden süreçlerin geliştirilmesini gerektirir. WEDM'de sürdürülebilirliği sağlamanın anahtarı, enerji verimliliğini artırmaktır. Enerji verimliliği, genellikle birim malzeme kaldırma (mm3 malzeme) veya birim işleme alanı (mm^2) başına tüketilen enerji olarak tanımlanmakta ve Spesifik Enerji Tüketimi (SEC) olarak ifade edilir:

SEC = Enerji tüketimi (kWh) / Kaldırılan malzeme hacmi (mm^3)

Bu durumda, sürdürülebilirlik açısından WEDM işleminde hedef SEC değerini minimize etmektir. Bu bağlamda iki ana strateji izlenebilir:

1. İşleme parametrelerinin sürdürülebilirlik odaklı optimizasyonu: Geleneksel olarak MRR'yi maksimize etmek için yüksek Ton ve Ip değerleri kullanılır. Ancak, yüksek deşarj enerjisi (Max. Ton X Ip) bir noktadan sonra MRR'ye doğrusal katkı sağlamayı durdurur ve enerjinin büyük bir kısmı sadece ısı kaybına ve yüzey kalitesinin bozulmasına yol açar. Optimizasyon, bu dönüm noktasını bulmayı ve en yüksek MRR / Ec oranını (yani en düşük SEC) veren parametre setini bulmayı amaçlamaktadır [28-30].

- Düşük enerjili deşarj stratejisi: Daha kısa Ton ve daha düşük Ip değerlerinin kullanılması, deşarj enerjisini düşürerek birim deşarj başına kaldırılan malzeme miktarını optimize eder. Yeterli Toff süresi, dielektrik sıvının etkili çalışmasına ve işlem kararlılığının korunmasına olanak tanır.
- Çok amaçlı optimizasyon: Gelişmiş algoritmalar (ANN, NSGA-II, Taguchi-GRA gibi), kullanıcıya sadece yüksek MRR veya düşük Ra değil, aynı zamanda düşük SEC ve düşük maliyet sunan bir dizi Pareto Optimal çözüm sunar. İşletme, spesifik gereksinimlerine göre bu çözümler arasından bir tercih yapabilir [31].

2. Makine ve sistem tasarımında enerji verimliliği: WEDM'de enerji verimliliği sadece işleme parametreleriyle sınırlı değildir. Makine üreticileri ve kullanıcıları, yardımcı sistemlerin enerji tüketimini azaltmaya yönelik adımlar atmalıdır:

- Yüksek verimli pompa ve motorlar: Dielektrik sıvıyı sirküle eden pompaların ve eksenleri hareket ettiren servo motorların (özellikle Z ekseni) yüksek verimli (IE3/IE4 sınıfı) motorlarla değiştirilmesi.
- Akıllı soğutma sistemleri: Soğutma ve havalandırma sistemlerinin sadece gerektiğinde ve gereken kapasitede çalışmasını sağlayan değişken hızlı sürücüler ile donatılması.
- Standby modları ve güç yönetimi: Makinenin boşta kaldığı sürelerde temel sistemlerin güç tüketimini minimuma indiren akıllı enerji yönetim modlarının (örneğin, otomatik standby modu) kullanılması.

Bu stratejilerin bütünleştirilmesi, WEDM süreçlerinin hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilirliğini maksimize ederek imalat sektörünün yeşil dönüşümüne önemli katkılar sağlayacaktır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

WEDM, hassasiyet ve karmaşık geometrili parçaların işlenmesinde vazgeçilmez bir yöntem olmasına rağmen, artan enerji maliyetleri ve sürdürülebilirlik hedefleri nedeniyle enerji tüketimi kritik bir performans göstergesi olarak ön plana çıkmıştır. Bu çalışma, WEDM'de enerji tüketiminin sadece deşarj enerjisiyle değil, aynı zamanda yardımcı sistemlerin (pompalar, soğutma üniteleri vb.) tüketimiyle de yakından ilişkili olduğunu vurgulamaktadır.

Parametre optimizasyonu, geleneksel hedefler olan MRR ve yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra spesifik enerji tüketimini (SEC) minimize etmeyi de içermelidir. Çok amaçlı optimizasyon tekniklerinin kullanılması, işletmelerin çevresel etkilerini azaltırken aynı zamanda maliyeti düşürmelerine olanak sağlayan en düşük SEC için dengeli bir parametre seti seçmelerini sağlar. Sürdürülebilir bir imalat için, daha kısa vurum süresi (Ton) ve optimize edilmiş tepe akımları (Ip) kullanan düşük enerjili deşarj stratejilerinin benimsenmesi zorunludur.

WEDM'de sürdürülebilirliği geliştirmek ve küresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamak amacıyla gelecekteki Ar-Ge çalışmaları aşağıdaki konulara odaklanmalıdır:

Daha kapsamlı enerji modellemesi: Araştırmalarda, sadece işleme tüketimini değil, tüm destek sistemlerinin (pompa, soğutma, tel sürme, temizleme, filtreleme vb.) yanı sıra standby modunun anlık enerji tüketimini içeren kapsamlı ve gerçek zamanlı enerji modelleri geliştirmelidir. Bu modeller, işletme maliyetini ve karbon ayak izini daha doğru tahmin etmeye yardımcı olacaktır.

Akıllı ve adaptif kontrol sistemleri: İşleme sırasında değişen koşullara (boşluk durumu, iş parçası kalınlığı) göre Ton, Toff ve Ip gibi parametreleri otomatik ve adaptif olarak optimize edebilen, yapay zeka/makine öğrenimi tabanlı kontrol sistemlerinin geliştirilmesi. Bu, sürekli olarak en düşük SEC'yi sağlayacaktır.

Alternatif dielektrikler ve soğutma yöntemleri: Dielektrik sıvının sirkülasyonu ve soğutulması için gereken enerji miktarını önemli ölçüde azaltacak, daha az enerji yoğun proses gerektiren yeni dielektrik sıvıların veya gaz/hava destekli sistemlerin araştırılması.

Gömülü sensör teknolojileri: Makine bileşenlerinin enerji tüketimini anlık olarak izleyebilen ve enerji israfını tespit edebilen gömülü sensörler ve enerji yönetim yazılımlarının makinelere entegrasyonu.

KAYNAKÇA

1. Gupta, K., Gupta, M.K., Developments in nonconventional machining for sustainable production: A state-of-the-art review, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 233(12):4213-4232, 2018.
2. Alam, M.N, Siddiquee, A.N, Khan, Z.A, Khan, N.Z., A comprehensive review on wire EDM performance evaluation, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 236(4):1724-1746, 2022.
3. Günay, M., Işık, A.T., Eco-Friendly dielectrics for EDM and WEDM processes, Environmentally Benign Machining, CRC press, 2024.
4. Sarala Rubi, C., Prakash, J. U., Juliyana, S. J., Čep, R., Salunkhe, S., Kouril, K., Ramdas Gawade, S., Comprehensive review on wire electrical discharge machining: a non-traditional material removal process, Frontiers in Mechanical Engineering, 10, 1–16, 2024.
5. Sharma, V.S., Sharma, N., Singh, Gurraj, Gupta, M.K., Singh, G., Optimization of WEDM parameters while machining biomedical materials using EDAS-PSO, Materials, 16, 2023.
6. Lee, H.T., Song, J.H., Min, S.H. et al., Research trends in sustainable manufacturing: a review and future perspective based on research databases, Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech. 6, 809–819, 2019.
7. Tengqiao Kong, Dong Ren Nhg, Van Tinh Shi, Method for optimizing energy consumption in machiningmanufacturing process, Mathematical Problems in Engineering, 2022, ID 8300666, 2022.
8. Hasan, M., Liu, Z., Rahman, A., Optimizing energy consumption in directed energy deposition-based hybrid additive manufacturing: an integrated modelling and experimental approach, Int J Adv Manuf Technol., 130, 4835–4844, 2024.
9. Zheng, J., Lai, X., Chen, A. et al., Energy modeling and minimizing energy consumption control strategy of wire electrical discharge machining (WEDM) through electrical parameters, Int J Adv Manuf Technol., 103, 4341–4353, 2019.
10. Pendokhare, D., Chakraborty, S.A., Review on multi-objective optimization techniques of wire electrical discharge machining, Arch Computat Methods Eng., 32, 1797–1839, 2025.
11. Afridi, S.A., Younas, M., Khan, Z. et al., Investigating wire electric-discharge machining (WEDM) parameters for improved machining of D2 steel: A multi-objective optimization study, Int. J. Precis. Eng. Manuf., 26, 817–835, 2025.

12. Devarajaiah, D., Muthumari, C. Evaluation of power consumption and MRR in WEDM of Ti–6Al–4V alloy and its simultaneous optimization for sustainable production, J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 40, 400, 2018.
13. Kumar S, S. D., Selection of WEDM parameters to measure the performance and productivity of die steel grade D3 using GRA and fuzzy logic system, Grey Systems: Theory and Application, 9, 336–355, 2019.
14. Li, C., Bai, J., Ding, J. et al., Gap current voltage characteristics of energy-saving pulse power generator for wire EDM, Int J Adv Manuf Technol., 77, 1525–1531, 2015.
15. Abhilash P.M., Chakradhar D., ANFIS modelling of mean gap voltage variation to predict wire breakages during wire EDM of Inconel 718, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 31, 153-164, 2020.
16. Yueqin, Z., Zhidong, L., Hongwei, P., Mingbo, Q., Influences of single-pulse energy distribution on WEDM cutting efficiency, Materials and Manufacturing Processes, 39(14), 1980–1990, 2024.
17. Roan M., Kirwin, M.D., Rashef Mahbub, Muhammad P. Jahan, Investigating the effect of wire feed rate and wire tension on the corner and profile accuracies during wire-EDM of Ti-6Al-4V, 13th International Manufacturing Science and Engineering Conference, Texas, June 18–22, 2018.
18. Susheel R. Dhale, Bhagyesh B. Deshmukh, WEDM with different diameter wire electrodes on Inconel 718: Improved dimensional deviation, wire consumption and surface quality, Materials Today: Proceedings, 72, 3, 896-903, 2023.
19. S Vijayabhaskar et al., Review of WEDM studies on metal matrix composites, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 390 012051, 2018.
20. Kimura, S., Iwai, H., Liu, S., Okada, A., Kurihara, H., Influence of nozzle jet flushing in wire EDM of workpiece with stepped thickness, Procedia CIRP, 113, 149-154, 2022.
21. Kumar, N., Kumari, S., Abhishek, K., Nandi, G., Ghosh, N., Study on various parameters of WEDM using different optimization techniques: A review, Materials Today: Proceedings, 62, 4018-4024, 2022.
22. Şentürk, E., Alparslan, C., Bayraktar, B., Korkmaz, M.E., Günay, M., A comprehensive review on sustainability in EDM process of additive manufactured materials, Measurement, 245, 116626, 2025.
23. Payla, A., Chopra, K., Mussada, EK., Investigations on power consumption in WEDM of EN31 steel for sustainable production, Materials and Manufacturing Processes, 34(16), 1855–1865, 2019.
24. Natarajan, M., et al., Assessment of machining of Hastelloy using WEDM by a multi-objective approach, Sustainability, 15, 1010, 2023.
25. Mussada, E.K, Hanafi, I., Mata Cabrera, F., Ozden-Gurcan, G., Artificial intelligence and machine learning-based modeling for sustainable wire electrical discharge machining of titanium Grade 4 alloy, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology,0(0), 2025.
26. Yusuf, L.A., Popoola, K., Musa, H., A review of energy consumption and minimisation strategies of machine tools in manufacturing process, International Journal of Sustainable Engineering, 14:6, 1826-1842, 2021.
27. Baroi, B.K., Jagadish, Patowari, P.K., A review on sustainability, health, and safety issues of electrical discharge machining, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 44:59, 2022.
28. Zheng, J., et al., Energy consumption assessment and economic analysis of a novel sustainable electro-machining auxiliary system, Applied Energy, 357, 122521, 2024.

29. Yueqin, Z., Zhidong, L., Hongwei, P., Mingbo, Q., Influences of single-pulse energy distribution on WEDM cutting efficiency, Materials and Manufacturing Processes, 39:14, 1980-1990, 2024.
30. Zheng, J., et al., Regulating cutting fluid parameters for optimal energy and economic performance: Methods for efficient and Low-Energy electrical machining, Energy Conversion and Management, 314, 118707, 2024.
31. Sarker, B., Chakraborty, S., Čep, R. et al. Development of optimized ensemble machine learning-based prediction models for wire electrical discharge machining processes, Scientific Report, 14, 23299, 2024.

TEL EROZYONLA İŞLEMEDE TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE MODELLENMESİ

Öğr. Gör. Salih GÜVERCİN
Amasya University
salih.guvercin@amasya.edu.tr - 0000-0002-9810-6051

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY
Karabük University
mgunay@karabuk.edu.tr - 0000-0002-1281-1359

ÖZET

Tel erozyon ile işlemede (WEDM), istenilen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığında parça üretimi için kesme süresi uzadığından daha fazla enerji tüketilmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik açısından söz konusu performans kriterinin optimizasyonu ve modellenmesi çok önemlidir. Bu çalışma, WEDM'de D2 kalıp çeliğinin kesilmesinde toplam enerji tüketiminin (Pc) minimizasyonu için parametre optimizasyonu ve ANN ile tahmin modelinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. İşleme deneyleri, üç farklı vurum süresi (Ton), vurum aralığı (Toff), tel hızı (w) ve ilerleme hızı (f) ile yapılmış ve optimizasyonda Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Pc için modelleme sürecinde, geri yayılımlı ileri beslemeli sinir ağı (BPNN) ve Levenberg-Marquardt algoritması eğitim fonksiyonu olarak uygulanmıştır. Pc'nin ilerleme hızının artmasıyla önemli bir oranda azaldığı belirlenmiştir. Diğer yandan, Ton ve Toff'daki artışla enerji tüketimi az da olsa artarken, tel hızındaki artışın Pc'yi çok fazla etkilemediği görülmektedir. Taguchi metodolojisiyle Pc'nin minimizasyonu için optimum parametreler 32 µs vurum süresi, 45 µs vurum aralığı, 1.5 mm/dk ilerleme hızı, 4 m/s tel hızı olarak bulunmuştur. İlerleme hızının artması dolaylı olarak karbon emisyonlarının azalmasını sağlayacağından, f değerinin optimizasyonu sürdürülebilir WEDM için önemli bir kriterdir. Toplam enerji tüketimi tahmin modeli için elde edilen belirtme katsayısı (R^2) %99'un üzerinde olup, bu sonuç modelin güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: WEDM, D2 çeliği, Enerji tüketimi, Optimizasyon

1. GİRİŞ

Günümüzün üretim senaryosunda, işleme parametrelerinin sürekli izlenmesi ve en iyi proses, makine ve ekipmanın seçimi çok önemlidir. Aynı zamanda hem geleneksel hem de geleneksel olmayan üretim yöntemlerinde sürdürülebilirlik için işlenmiş parçanın istenen yüzey kalitesine, işleme sırasında tüketilen enerjiye, mikro/makro yapısal değişikliklere ve üretim maliyetlerinin uygunluğuna dikkat edilmelidir [1, 2]. Geleneksel olmayan bir üretim yöntemi olan tel erozyonla işleme (WEDM), bir elektrot ile iş parçası arasında oluşan kıvılcımlar ve dielektrik bir sıvı kullanılarak elektriksel olarak iletken bir malzemenin eritilmesi ve/veya buharlaştırılması işlemidir. Bu teknik belirgin kazanımlara sahip olup bazı endüstrilerde yaygın olarak kullanılırken, geleneksel yöntemlere kıyasla enerji tüketiminde önemli bir artışa ve dolayısıyla karbon emisyonlarında da buna karşılık gelen bir artışa neden olmaktadır [3]. Bu yöntemde uygulanan işleme değişkenleri (darbe genişliği, tel hızı, akım, ilerleme hızı vb.), yüzey pürüzlülüğü, malzeme kaldırma oranı (MRR), kesme genişliği (Kw), yorulma dayanımı, korozyon direnci, aşınma miktarı, tribolojik özellikler, yüzey sertliği ve enerji tüketimi gibi işleme göstergelerini etkiler [4].

Küresel olarak, sanayi sektöründe tüketilen enerji, toplam enerji tüketiminin (Pc) %37'sine ulaşmaktadır. Örneğin, Çin'de imalat sanayinin enerji tüketimi Pc'nin %58'ini oluşturmaktadır [1, 5]. Benzer bir durum Türkiye için de geçerlidir; burada sanayi sektörü 2020 yılı itibariyle toplam tüketimin %42,7'sini kullanmıştır. Sanayi sektörünün elektrik enerjisi ihtiyacı bir önceki yıla göre yaklaşık %5,62 artmış ve bundan doalyı imalat sektöründe enerji tüketim verimliliğinin artırılması gerekmektedir [6]. Bu nedenle, kaliteyi tehlikeye atmadan enerji tasarrufu sağlamak için ürünün uygun yüzey bütünlüğü bağlamında istenen mükemmel işleme performansını elde etmek için uygun işleme koşullarını ve modellemeyi (makine öğrenimi, çok kriterli öğrenme yöntemleri vb.) ayarlamak çok önemlidir. Ancak, WEDM işleminde birçok işleme değişkeni olduğundan, optimal parametre ayarını belirlemek zordur [7, 8].

Son yıllarda, WEDM teknolojisinde işleme çıktısı için çeşitli parametre optimizasyonu ve modelleme tekniklerinin performansı araştırılmaktadır. Manoj vd., HX alaşımının WEDM'si sırasında farklı vurum süresi (Ton), tel aralığı ve servo voltaj kombinasyonlarını kullanarak işleme hızı, pürüzlülük (Ra), ve malzeme yapısındaki değişiklikleri araştırmışlardır. İşleme hızı ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için yanıt yüzey metodolojisi ve yapay sinir ağı (ANN) kullanarak modelleme yapmışlardır. Geliştirilen modeller, %6'dan daha az bir hata ile işleme çıktısını tahmin etmek için en etkili yöntem olduğunu göstermiştir [9]. Gurupavan vd., Ton, vurum aralığı (Toff), akım ve tel hızı gibi işleme parametrelerini kullanarak Al-esaslı kompozit malzemeyi WEDM'de kesmişlerdir. L_{27} ortogonal dizisine göre gerçekleştirilen deneysel veriler ile Ra, MRR ve elektrot aşınmasının modellenmesinde ANN'de ileri beslemeli geri yayılım ağı (FFBPN) ve Levenberg-Marquardt algoritmasını kullanmışlardır. Modellemede, veri setinin %70'ini eğiterek ölçülenler ile tahmin sonuçlarının iyi bir korelasyon gösterdiğini belirtmişlerdir [10]. Reddy vd., grafik teorisi ve fayda kavramı (GTUC) ve eğitim-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) yöntemlerini kullanarak WEDM'de Ton, Toff,

Wt, voltaj (V) ve Ip değişkenlerini kullanarak enerji tüketimini ve yüzey pürüzlülüğünü optimize etmişler. GTUC yönteminin %26 daha az enerji tükettiğini ve TLBO yönteminin %40 daha az enerji tükettiğini ve akımın daha etkili parametre olduğunu bildirilmiştir [11]. Afridi vd., gri ilişki analizi (GRA) çoklu optimizasyon tekniğini kullanarak D2 çeliğinin 0,25 mm Cu tel ile kesiminde performans göstergeleri yüzey pürüzlülüğü, enerji tüketimi ve Kw için V, Toff ve Ton faktörlerinin optimizasyonuna odaklandılar. Varyans analizi (ANOVA), tüm performans göstergeleri için en önemli parametrenin vurum süresi olduğunu göstermiştir [12]. Nawaz vd., farklı parametrelerle yüksek hızlı WEDM'de Taguchi ortogonal dizisi ile DC53 çeliğini kesmişler. Performans göstergeleri olarak MRR, yüzey pürüzlülüğü ve Kw'yi optimize etmeye çalışmışlardır. Akımın MRR ve SR'yi etkilediğini, vurum genişliğinin ise kesme genişliğini etkilediğini bildirdiler. Her performans göstergesi için optimum parametreler farklı olduğundan, çoklu optimizasyon tekniği önermişlerdir [13]. Zheng ve ark., WEDM parametreleri Ip, Ton ve Toff kullanarak A3 karbon çeliğinin kesiminde MRR, Ra ve enerji tüketimini azaltmak için parametreleri optimize etmeyi hedeflemişlerdir. Sonuç olarak, yazarlar önerilen modellerin enerji tüketimini %21,94 ve işleme süresini %28,23 oranında azaltabileceğini belirtmişlerdir [14].

WEDM üzerine mevcut araştırmalar çoğunlukla işleme verimliliği, boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesi gibi performans göstergelerinin iyileştirilmesine odaklanırken, işleme sırasında enerji tasarrufu, emisyon azaltımı ve sürdürülebilirlik üzerine sınırlı araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, kalıpçılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan D2 çeliğinin WEDM'sinde sürdürülebilirlik açısından en önemli işleme çıktısı olan toplam enerji tüketimi için parametre optimizasyonu ve ANN modellemesine odaklanılmıştır.

2. MATERYAL VE METODOLOJİ

2.1. Deneysel Ekipman

EDM deneyleri, endüstriyel kalıpçılıkta en çok kullanılan çeliklerden birisi olan AISI D2 soğuk iş takım çeliği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çelik, yüksek sertliği, nihai mukavemeti ve iyi aşınma direnci nedeniyle sac metal şekillendirme kalıplarında, enjeksiyon kalıplarında, kesici takımlarda ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [15,16].

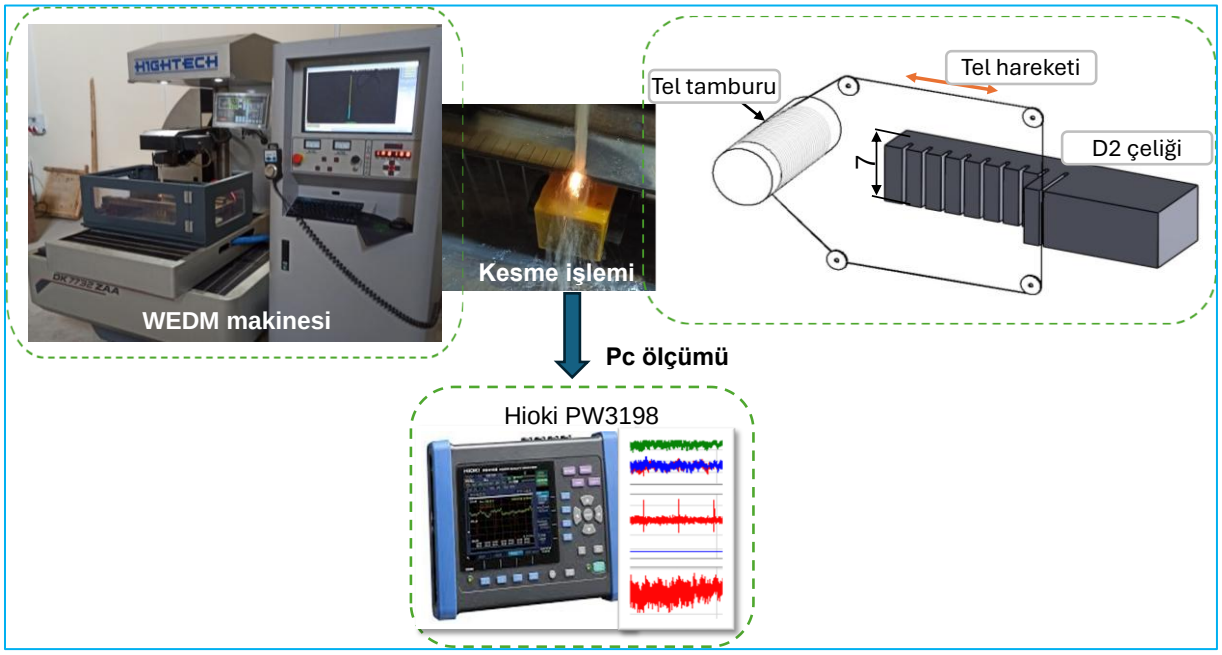
Deneylerde, vurum süresi (Ton), vurum aralığı (Toff), ilerleme hızı (f) ve tel hızı (w) parametreleri seçilmiştir. Bu parametrelerin değerleri, WEDM makine üreticisinin önerilerine ve buna göre yapılan ön deneylere dayanarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Sürdürülebilirliğe katkıda bulunmak amacıyla Taguchi L_{27} ortogonal dizisi kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Çizelge 1. Deney tasarımı için parametreler

Parametre	Ton (µs)	Toff (µs)	f (mm/dk)	w (m/s)
Seviye 1	32	45	0.8	4
Seviye 2	56	175	1.6	8
Seviye 3	72	480	2.4	12

Kesme işlemleri Hightech DK-7732 CNC-WEDM makinesinde yapılmıştır. Elektrot olarak Ø0.18 mm Mo tel, dielektrik sıvı olarak ise saf su ve JR3A reçinesinin 1/30 (kg/kg) oranında emülsiyon karışımı kullanıldı. Emülsiyon akış basıncı 1 bar olarak uygulanmıştır. D2 çeliğinin WEDM işleminde toplam enerji tüketiminin belirlenmesi için Hioki PQ3198 güç analizörü kullanılmıştır. Öncelikle, her deney dizisi için anlık enerji tüketimi (Pi, watt) ölçüldü ve toplam enerji tüketimini hesaplamak için 20 mm'lik kesme uzunluğu için süre (Tc) ile çarpıldı (Eş.1). Deney düzeneği ve ölçüm cihazı Görsel 1'de gösterilmiştir.

$$Pc=Pi*Tc \quad (1)$$



Görsel 1. Deney düzeneği

WEDM makinesinin şebeke güç kaynağına bağlı güç analizörü, makinenin hem işleme olmadan (darbesiz) hem de işleme anındaki enerji tüketimini kaydetti. Darbesiz güç, dielektrik pompalar, tel tahriki ve makine kontrol sistemi gibi yardımcı bileşenler tarafından tüketilen enerjiyi içerir. Ayrıca, performans göstergesi Pc için geliştirilen modelin geçerliliğini artırmak amacıyla deneyler tekrarlanmış ve sonuçlar ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

2.2. Analiz ve Modelleme

WEDM sürecinde, tek bir performans göstergesi (Pc) analiz edildiğinden parametre optimizasyonu için Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Taguchi yönteminde deneysel sonuçlar ile optimum değer arasındaki sapmayı hesaplamak amacı ile bir yaklaşım çeşidi kullanılır. Pc değerlerini minimize etmek amacı ile Taguchi metodolojisinde “en küçük en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır. Bu süreçte uygulanan prosedürler önceki çalışmamızda mevcuttur [17]. Ayrıca, parametrelerin sonuç verilerine katkı oranları ve yüzdelerinin hesaplanması için ANOVA uygulanmıştır.

Performans göstergesini tahmin edici modelin geliştirilmesinde yapay sinir ağı (ANN) tekniği kullanılmıştır. Yapay sinir ağı, makine öğrenmesi yaklaşımlarının bir alt grubu olarak hizmet

eden modelleme aracıdır. Çıktı tahmini, sigmoid fonksiyonu (Eş.2) kullanılarak dönüştürülen olasılık teorisine dayanmaktadır. Yapay sinir ağının beyin fonksiyonunun iki yönü, öğrenme süreci yoluyla veri edinme ve ağırlıklar olarak bilinen bağlantılar aracılığıyla edinilen verileri depolama yetenekleridir [9].

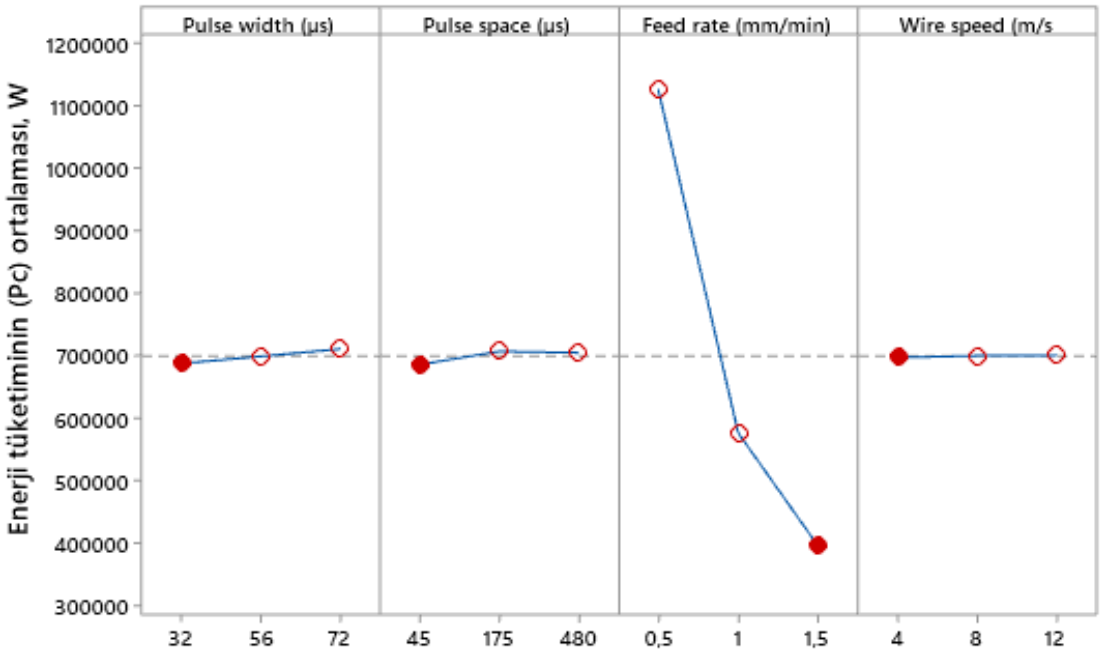
$$\sigma(x)\frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2)$$

Bir ANN modelinin başarısı ve güvenilirliği çok sayıda faktöre bağlıdır. Bu kritik tasarım unsurları arasında, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, giriş katmanının yapısı, gizli katmanların konfigürasyonu (özellikle nöron sayısı), çıkış katmanı kurulumu, ağ ağırlıklarının belirlenmesi, transfer fonksiyonunun seçimi ve eğitim yineleme sayısı yer almaktadır. Buna göre, hatayı azaltmak ve modeli iyileştirmek için ortalama karesel hata (MSE), belirleme katsayısı (R^2) ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi kontrol kriterleri önerilmektedir [11, 18]. Modelleme işlemleri ve istatistiksel kontrol analizleri MATLAB 2024b platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

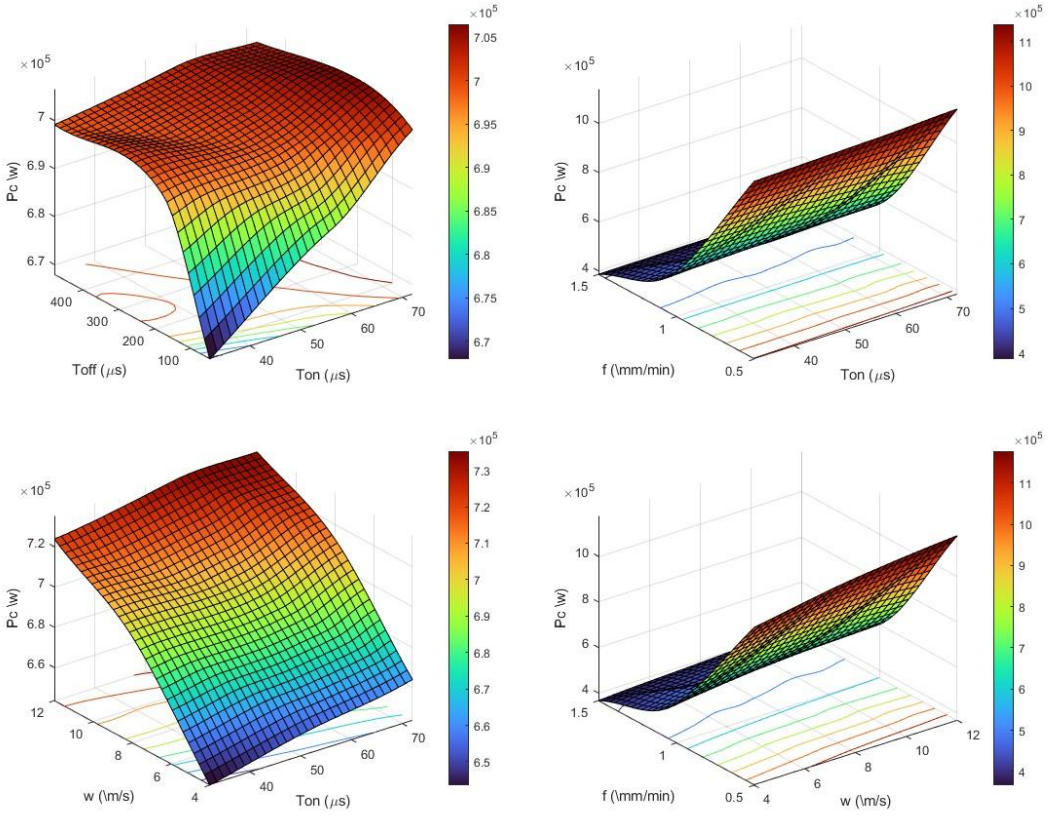
3.1. Enerji Tüketimi Optimizasyonu

WEDM'de enerji tüketimi veya güç kullanımı, sürdürülebilirlik açısından işleme verimliliğini etkileyen birincil faktördür. Ayrıca, elektrik tüketiminden değil, üretimi ve iletiminden kaynaklanan dolaylı karbon emisyonlarını da dolaylı olarak etkiler. Toplam enerji tüketiminin işleme parametrelerine göre değişimi ana etki grafikleri yardımıyla incelenmiştir. Taguchi yöntemi “en küçük en iyi” yaklaşımına göre Pc için ana etki grafikleri Görsel 2’de verilmiştir. Bu yaklaşıma göre Pc değerinin en küçük olduğu seviye optimum parametreyi göstermektedir.



Görsel 2. Pc üzerinde parametre etkileri

Görsel 2'deki grafikler, toplam enerji tüketiminin (Pc) ilerleme hızıyla (feed rate) önemli ölçüde değiştiğini ve f değeri arttıkça Pc'nin azaldığını göstermektedir. Öte yandan, vurum süresi (Ton) ve vurum aralığının (Toff) artmasıyla enerji tüketimi hafifçe artarken, tel hızındaki (wire speed-w) artışın Pc'yi önemli ölçüde etkilemediği görülmektedir. Bu sonuç, Pc'yi en aza indirmek için elektriksel parametrelere ek olarak WEDM'de elektriksel olmayan parametrelerin de dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, Pc'deki değişimi incelemek için 3D etkileşim grafikleri çizilmiştir (Görsel 3). Grafiklerden görülebileceği gibi, ilerleme hızı hariç diğer parametreler ile Ton'un etkileşimi arttığında Pc değerleri artmaktadır [19]. Pc'deki bu artış, elektriksel parametrelerin etkileşiminde tüketilen elektriğin artmasına bağlanmaktadır. İlerleme hızı etkileşimlerinde, parametre seviyesi arttırıldığında Pc'de önemli bir azalma gözlemlenmektedir. Bu, f'nin artmasıyla kesme süresinin azalması ve dolayısıyla elektrik tüketiminin azalmasıyla açıklanabilir. Sonuç olarak, ilerleme hızının artması dolaylı olarak karbon emisyonlarını azaltır; bu da sürdürülebilir bir WEDM süreci için önemli bir göstergedir. Görsel 2'nin Taguchi yöntemine göre analizi sonucunda, minimum Pc değerine ulaşmak için Ton, Toff ve w parametrelerinin 1.seviyesi ile f parametresinin 3. Seviyesi optimum parametreler olarak belirlenmiştir.



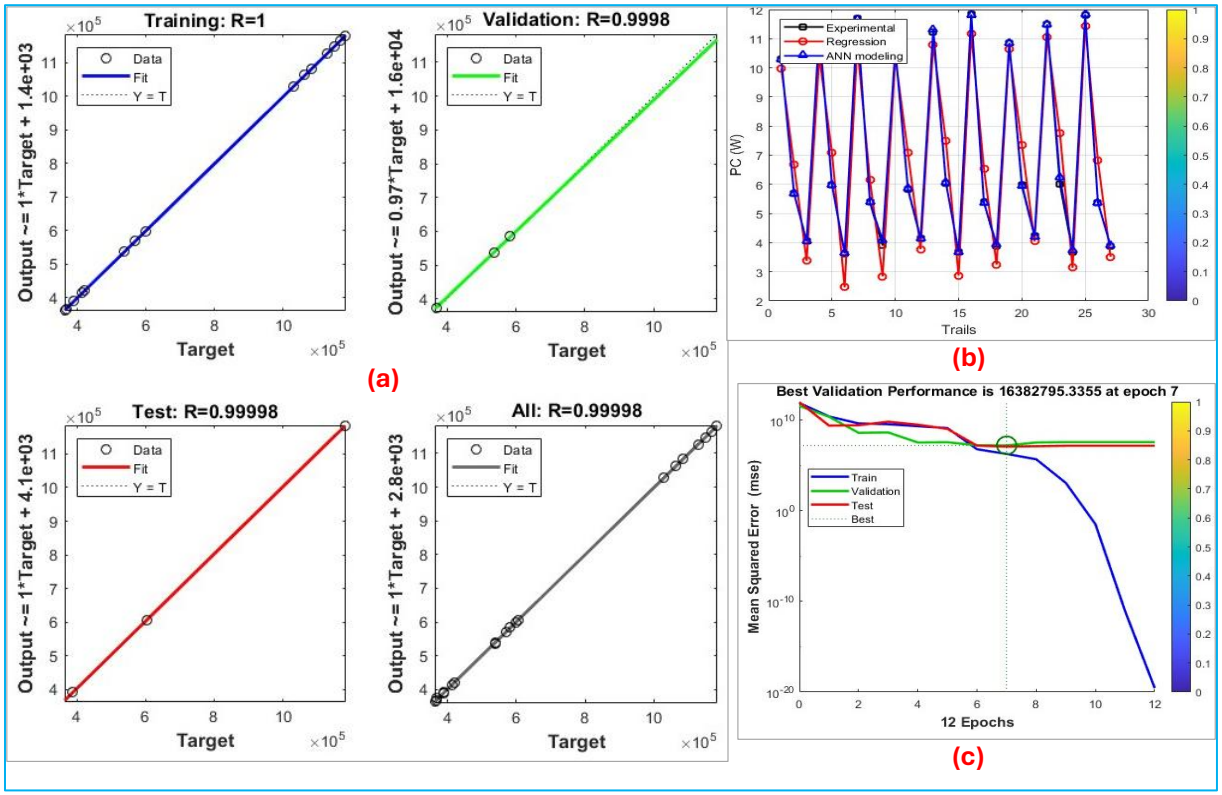
Görsel 3. Parametreler ile Pc etkileşim grafikleri

3.1. Modelleme Sonuçları

ANN modeli, giriş katmanında dört nöron; vurum süresi (Ton), vurum aralığı (Toff), tel hızı (w) ve ilerleme hızı (f), ve çıkış katmanında bir nöron; enerji tüketimi içerecek şekilde kurgulanmıştır. Ortaya çıkan optimal ANN topolojisi, bir giriş katmanına, bir gizli katmana ve

bir çıkış katmanına bağlıdır. En uygun model için, deneysel veriler %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test şeklinde ayrılmış ve çeşitli parametrik kombinasyonlarda farklı yinelemeler yapılmıştır. Sonuçta, 4 giriş, 1 gizli ve 1 çıkış katman ile 8 nöron sayısından oluşan bir ANN ağı kullanılarak modelleme tamamlanmıştır.

Görsel 4a), toplam enerji tüketimi için ANN modelinden elde edilen 0.99, 0.99 ve 1.00 R^2 değerleriyle gösterildiği gibi, çıktıların tahmin edilebilirliğindeki iyileşmeyi göstermektedir. Görsel 4b)'deki grafik, deneysel sonuçları geleneksel regresyon ve ANN modellerinden elde edilen tahminlerle karşılaştırmaktadır. Görsel 4c), Pc tahmin modeli için MSE grafiğini göstermektedir. 12 eğitim setinden 7. eğitim setinde elde edilen doğrulama performansı, özellikle eğitimin başlangıç aşamalarında tatmin edicidir. Bu veriler dikkate alındığında, Pc için geliştirilen ANN modelinin tahmin edilen sonuçlar açısından daha doğru ve başarılı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, geliştirilen model, regresyon modeline göre daha iyi tahmin edilebilirlik sunmaktadır [20].



Görsel 4. a) Pc için regresyon grafiği, b) Pc için deneysel ve tahmin değerleri, c) Pc için ağ performansı

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, D2 kalıp çeliğinin WEDM işleminde sürdürülebilirlik için kritik performans göstergesi olan toplam enerji tüketimini (Pc) en aza indirmek için parametreleri optimize etmeyi ve tahmin modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar aşağıda özetlenmiş ve gelecekteki çalışmalar için çeşitli öneriler sunulmuştur:

- Toplam enerji tüketiminin ilerleme hızı arttıkça önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Diğer parametrelerdeki artışlar, Pc'deki azalmayı/artışı önemli ölçüde etkilememiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, WEDM'de Pc'yi en aza indirmek için yüksek ilerleme hızı önerilir.

- Pc'nin minimizasyonu için en uygun parametreler Ton1-Toff1-f3-w1 deney dizisi şeklinde bulunmuştur.

- Performans göstergesi (Pc) için geliştirilen eğitim, doğrulama, test ve genel ANN modelleri için elde edilen R^2 değerleri %99'un üzerindedir. Bu sonuç model tahminleri ile hedeflenen değerler arasında güçlü bir uyum olduğunu göstermektedir. İkincisi, uygulanan ANN modelleme yaklaşımının (FFBPN ve Levenberg-Marquardt algoritması eğitim fonksiyonu) WEDM süreçleri için güvenle kullanılabileceğini göstermektedir.

- Gelecekte, farklı dielektrik ortamların enerji tüketimi, yüzey bütünlüğü ve malzeme kaldırma hızı üzerindeki etkilerini analiz ederek sürdürülebilirliğe daha fazla katkıda bulunmak için kapsamlı WEDM çalışmaları yapılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (KBÜBAP-24-DR-146) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

32. Zheng, J., Qi, T., Hu. X, et al., Energy consumption assessment and economic analysis of a novel sustainable electro-machining auxiliary system, Applied Energy, 357,122521, 2024.
33. Güvercin, S., Kocaoğlu, E., Optimization of surface roughness using multiple-cut method in wire electrical discharge machining, Manufacturing Technologies and Applications 4, 155–166, 2023.
34. Sudhir, Sehgal A.K., Nain, S.S., Machine learning algorithms evaluation and optimization of WEDM of nickel based super alloy: A review, Materials Today: Proceedings, 50,1793-1798, 2022.
35. Kumar, A., Singh, S., Machine learning algorithms evaluation and optimization of WEDM of nickel based super alloy : A review, Materials Today : Proceedings, 50,1793-1798, 2022.
36. Zheng, J., Jia. R, Hu, X., et al., Regulating cutting fluid parameters for optimal energy and economic performance: Methods for efficient and low-energy electrical machining, Energy Conversion and Management, 314, 2024.
37. EPDK, Elektrik Piyasası Sektör Raporu, 2021.
38. Majumder, H., Maity, K., Prediction and optimization of surface roughness and micro-hardness using grnn and MOORA-fuzzy-a MCDM approach for nitinol in WEDM, Measurement, 118,1–13, 2018.
39. Anwar, H., Shather, S.K, Khudhir, W.S., WEDM process parameters analysis and optimization : A review, Salud, Cienciay Tecnología-Serie de Conferencias, 3, 2024.
40. Manoj, I.V, Soni, H., Narendranath, S, et al., Examination of machining parameters and prediction of cutting velocity and surface roughness using RSM and ANN using WEDM of Altemp HX, Advances in Materials Science and Engineering, 2022.
41. Gurupavan, H.R, Devegowda, T.M., Ravindra, H.V, Ugrasen, G., Estimation of machining performances in WEDM of aluminium based metal matrix composite material using ANN. Materials Today : Proceedings, 4,10035–10038,2017.

42. Reddy, M.C., Venkata Rao, K., Suresh, G., An experimental investigation and optimization of energy consumption and surface defects in wire cut electric discharge machining, Journal of Alloys and Compounds, 861,158582, 2021.
43. Afridi, S.A., Younas M., Khan, Z., Khan, A.M., Investigating wire electric-discharge machining (WEDM) parameters for ımproved machining of D2 steel : A multi-objective optimization study, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 26, 817-835, 2025.
44. Nawaz, Y., Maqsood, S, Naeem, K., et al., Parametric optimization of material removal rate, surface roughness, and kerf width in high-speed wire electric discharge machining (HS-WEDM) of DC53 die steel, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 107, 3231-3245, 2020.
45. Zheng, J., Lai, X., Chen A, Zheng, W., Energy modeling and minimizing energy consumption control strategy of wire electrical discharge machining (WEDM) through electrical parameters, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 103, 4341-4353, 2019.
46. Kumar, A., Jagota, V., Qayoom R, et al., Wire EDM process parameter optimization for D2 steel, Materials Today : Proceedings, 37, 2478–2482, 2021.
47. Çakıroğlu, R., Günay, M., Estimation of fatigue life of cold work tool steel machined by electrical discharge turning, Journal of Polytechnics, 0900, 495–502, 2021.
48. Yurtkuran, H., Günay, M., Predictive modelling and optimization for machinability indicators in cleaner milling of PH13-8Mo using sustainable cutting environments, J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.**,** 46, 319, 2024.
49. Gökçe, H., Çiftçi, İ., Mathematical modelling and multiresponse optimization to minimize surface roughness in drilling Custom 450 stainless steel, Manufacturing Technologies and Applications, 4(1), 11-24, 2023.
50. González-Rojas, H.O, Miranda-Valenzuela, J.C, Calderón-Najera, J.D., Optimization of cutting parameters for energy efficiency in wire electrical discharge machining of AISI D2 steel, Applied Sciences, 14, 4701, 2024.
51. Kavimani, V., Gopal, P.M, Keerthiveettil Ramakrishnan, S, et al., Predictive modelling and optimization of WEDM parameter for Mg–Li alloy using ANN integrated CRITIC-WASPAS approach, Heliyon, 10, 35194, 2024.

Hafif Ticari Araç Koltuklarında Harness Konnektör Yarım Montaj Sorununun İyileştirilmesi ve Poke-Yoke Destekli Dizayn Uygulaması

Student Engineer İlbey KALE
Magna Seating Turkey,
ilbey.kale@magna.com - 0009 0006 7534 9807

Sr. Designer Mutlu AKSOY
Magna Seating Turkey,
mutlu.aksoy@magna.com - 0009-0005-2563-0724

ÖZET

Bu çalışmada, hafif ticari araç koltuklarında kullanılan elektriksel harness yapılarında görülen "yarım montaj" kaynaklı arıza riskleri analiz edilmiş ve bu hataların önlenmesine yönelik poke-yoke destekli yeni bir konnektör dizaynı geliştirilmiştir. Mevcut tasarımda aynı tarafta yer alan iki erkek ve iki dişi konnektörün birbiriyle yanlış eşleşebilmesi sonucunda elektrik akımının hatalı şekilde iletilebildiği belirlenmiştir. Yapılan kök neden analizleri, operatör montaj hatalarının ve konnektör benzerliğinin süreci olumsuz etkilediğini göstermiştir.Bu doğrultuda, her iki uçta "1 erkek + 1 dişi" olmak üzere eşsiz bir konfigürasyon tasarlanmış ve montajda yanlış eşleşmeyi fiziksel olarak imkânsız hâle getiren bir poke-yoke uygulanmıştır. Tasarım değişikliği sonrasında yapılan testler, elektrik akımının yalnızca doğru eşleşme gerçekleştiğinde iletilebildiğini; ters veya hatalı bağlamalarda ise akım geçişinin tamamen engellendiğini doğrulamıştır.Sonuç olarak, önerilen harness dizaynı hem montaj hatalarını ortadan kaldırmakta hem de güvenilirliği artırarak sistem arızalarının önüne geçmektedir. Bu yöntem, benzer montaj süreçlerinde de düşük maliyetli ve etkili bir iyileştirme yaklaşımı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Harness, Konnektör, Yarım Montaj, Poke-Yoke

OTOMOTİV KOLÇAK VE BİLEŞENLERİNDE CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİPROPİLENİN MEKANİK VE FİNANSAL PERFORMANSI

Student Engineer İlbey KALE
Magna Seating Turkey,
ilbey.kale@magna.com - 0009 0006 7534 9807

Enes Levent Kalkan
Kocaeli Üniversitesi / Magna Seating R&D Intern
ekalkan01@hotmail.com - 0009-0003-4742-6826

R&D Manager Bilal Bayır
Magna Seating Turkey,
Bilal.Bayir@magna.com – 0000-0001-6636-9204

ÖZET

Otomotiv sektöründe araç bileşenlerinin geliştirilmesi, yalnızca dayanıklılık gerekliliklerini karşılamakla sınırlı değildir. Aynı zamanda, ağırlığı azaltmak ve maliyetleri kontrol altına almak da tasarım sürecinin temel hedefleri arasındadır. Bu bağlamda, cam elyaf takviyeli polipropilen (PPGF) malzemeler çeşitli elyaf oranlarıyla incelenmiş ve özellikle mukavemet, sertlik ve uzun ömür açısından performansları değerlendirilmiştir.Yapılan çalışmalar, cam elyaf takviyesinin geleneksel plastik malzemelere kıyasla önemli bir mekanik avantaj sağladığını göstermektedir. Ancak, bu katkının üretim maliyetleri üzerindeki etkisi de dikkate alınmıştır. Sonuçlar, yaklaşık %30 cam elyaf içeren PPGF malzemelerin yeterli yapısal mukavemet sağlamanın yanı sıra önemli ağırlık ve maliyet avantajları da sunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, cam elyaf takviyesi, otomotiv koltuk bileşenlerinde performans ve maliyeti optimize etmek için dengeli bir çözüm sunmaktadır. Bu durumda, PPGF30 malzemeden üretilen yeniden tasarlanmış kol dayanağımızın mekanik ve finansal performansı test edildi ve sonuç olarak hem gerekli standartları karşılamada hem de maliyetleri düşürmede başarılı olduk.

Anahtar Kelimeler : Cam elyaf, polimer malzeme, otomobil koltuğu, mekanik test, kolçak.

ATOMİZASYON GEREKTİREN ÇÖZELTİLER İÇİN NOZUL TASARIMININ CFD ANALİZİ VE PYTHON İLE SAYISAL DOĞRULANMASI

Berke OKAY[1]

AKANA Mühendislik ve Ticaret A.Ş.

berkeokay@akana.com.tr

[1]ORCID ID: 0009-0000-2194-0809

Galip ÇAPÇI[2]

AKANA Mühendislik ve Ticaret A.Ş.

galipcapci@akana.com.tr

[2]ORCID ID: 0000-0002-4401-9315

ÖZET

Atomizasyon prosesleri; sprey kurutma, kristalizasyon, yanma sistemleri ve itki teknolojileri gibi birçok mühendislik uygulamasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, AKANA Mühendislik tarafından geliştirilen hava destekli özgün bir nozul tasarımının atomizasyon performansı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri ve Python tabanlı sayısal hesaplama yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bütünleşik bir yaklaşımla incelenmiştir. CFD analizlerinde, sıvı–gaz fazları arasındaki serbest yüzey etkileşimlerini modellemek amacıyla Volume of Fluid (VOF) yöntemi kullanılmıştır. Eş zamanlı olarak geliştirilen Python tabanlı hesaplama modeli ile nozul geometrisi, işletme parametrelerindeki değişimlerin damlacık boyutu dağılımı ve Sauter Ortalama Çapı (SMD) üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen nozul tasarımının boş konik (hollow cone) püskürtme deseni oluşturduğunu ve yaklaşık 10 µm SMD değerlerine ulaşabildiğini göstermiştir. Sunulan bütünleşik yöntem, deneysel prototip ihtiyacını azaltarak nozul tasarım sürecinde etkin ve güvenilir bir doğrulama aracı sunmaktadır.

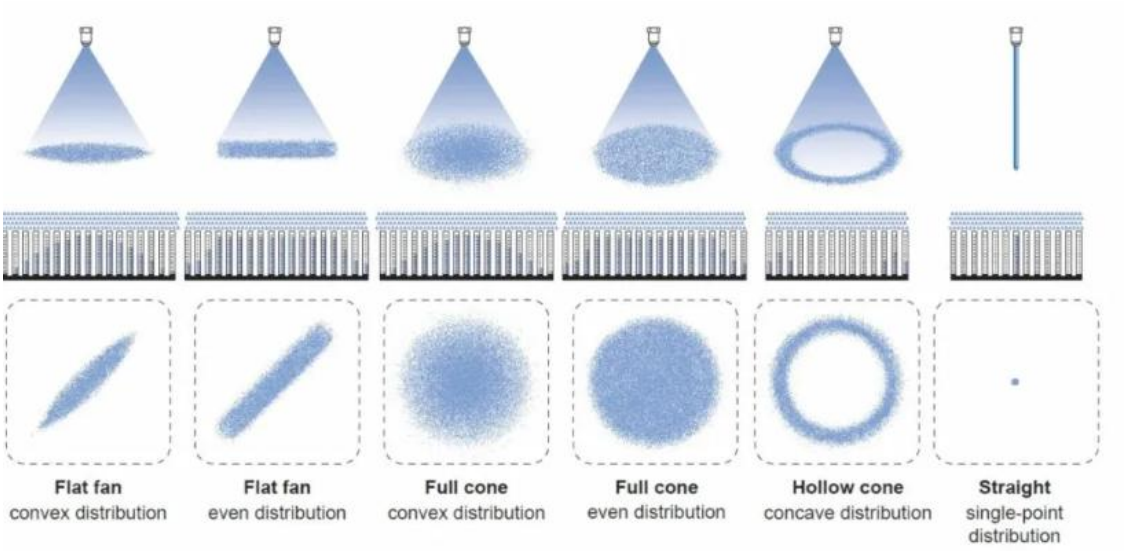
Anahtar Kelimeler: Atomizasyon, Sauter Ortalama Çap (SMD), Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD), Boş Koni (Hollow Cone)

1. Giriş

Atomizasyon prosesleri; sprey kurutma, yanma sistemleri, itki teknolojileri ve kimyasal prosesler gibi birçok mühendislik uygulamasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu tür sistemlerin performansı, damlacık boyutu dağılımı, püskürtme kararlılığı ve kütle transfer verimliliğini doğrudan belirleyen atomizör nozul tasarımına güçlü bir şekilde bağlıdır. Özellikle mikrometre mertebesinde kontrollü damlacık boyutlarının elde edilmesi; buharlaşma hızlarının artırılması, kristalizasyon veriminin iyileştirilmesi ve çok fazlı akış sistemlerinde reaksiyon homojenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Deneysel çalışmalar ve literatürde rapor edilen sonuçlar, atomizasyon ve ani buharlaşmanın kritik olduğu proseslerde Boş Koni (hollow cone) püskürtme desenine sahip nozulların daha etkin ve verimli bir atomizasyon sağladığını ortaya koymaktadır.[1]

Püskürtme desen çeşitleri aşağıdaki görseldeki gibidir;



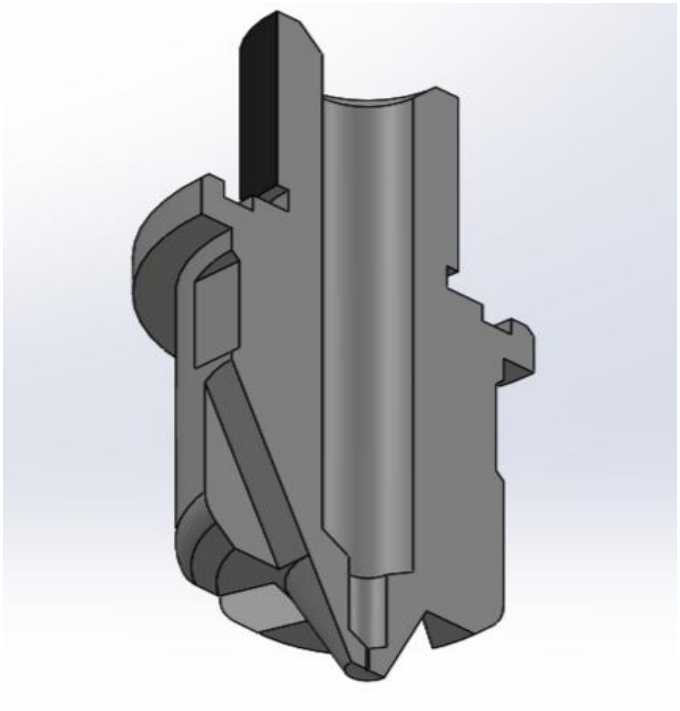
Şekil 1: Sprey Modelleri [1]

Mevcut literatürdeki önemli bir eksiklik, nozul tasarım sürecinin yalnızca sayısal simülasyonlara veya yalnızca ampirik modellere dayanmasıdır. CFD sonuçlarının bağımsız hesaplama araçlarıyla doğrulanmasına yönelik çalışmalar sınırlı sayıdadır. Özellikle yüksek uçuculuğa sahip sıvılar ve ince damlacık üretimi hedeflenen uygulamalarda, tasarımın fiziksel tutarlılığını sınayacak bütünleşik bir doğrulama yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda, bu çalışmanın amacı CFD analizleri kullanılarak püskürtme (spray) karakteristiklerinin modellenmesi ve ayrıntılı biçimde incelenmesi; eş zamanlı olarak Python diliyle geliştirilen hesaplama kodları aracılığıyla elde edilen verilerin işlenmesi ve özellikle Sauter Ortalama Çap (SMD) gibi kritik parametrelerin daha hızlı ve etkin bir şekilde analiz

edilerek sonuca ulaşılmasının sağlanmasıdır. AKANA Mühendislik ARGE projesi kapsamında yürütülen proseste kullanılan bu nozulun çalışması sonucunda, Sauter Ortalama Çap (SMD) değerinin yaklaşık 10 µm mertebesinde olması beklenmektedir.

2. Tasarım, Hesaplama ve Analizler

Bu çalışmada AKANA Mühendislik tarafından geliştirilen nozul tasarımı kullanılmış olup, ince damlacık üretimi amacıyla tasarlanan özgün bir hava destekli nozul analiz edilmiştir. Nozul performansı, CFD simülasyonları ile birlikte püskürtme karakterizasyonu için geliştirilen Python tabanlı bir hesaplama modeli kullanılarak incelenmiştir. Damlacık çapının zamana bağlı değişimi ve Sauter Ortalama Çapı (SMD) başta olmak üzere temel püskürtme parametreleri, tanımlı çalışma koşulları altında değerlendirilmiştir. Önerilen yaklaşım, hem akış alanının ayrıntılı analizini hem de atomizasyon davranışının bağımsız sayısal doğrulamasını mümkün kılmaktadır.[6]



Şekil 2: Nozul tasarımının izometrik görünüşü

Nozul tasarımında itici gaz olarak N_2 gazı ile çalışılmıştır (hesaplanan parametrelerde sabit tutulmuştur). Nozul azot gazı parçalanması istenilen çözeltiyi atomize ederek mikro damlacıklar oluşturur. Böylece çözelti kristalleri sub-mikron ölçüde oluşur. Nozulu terk eden gaz ses hızındadır.

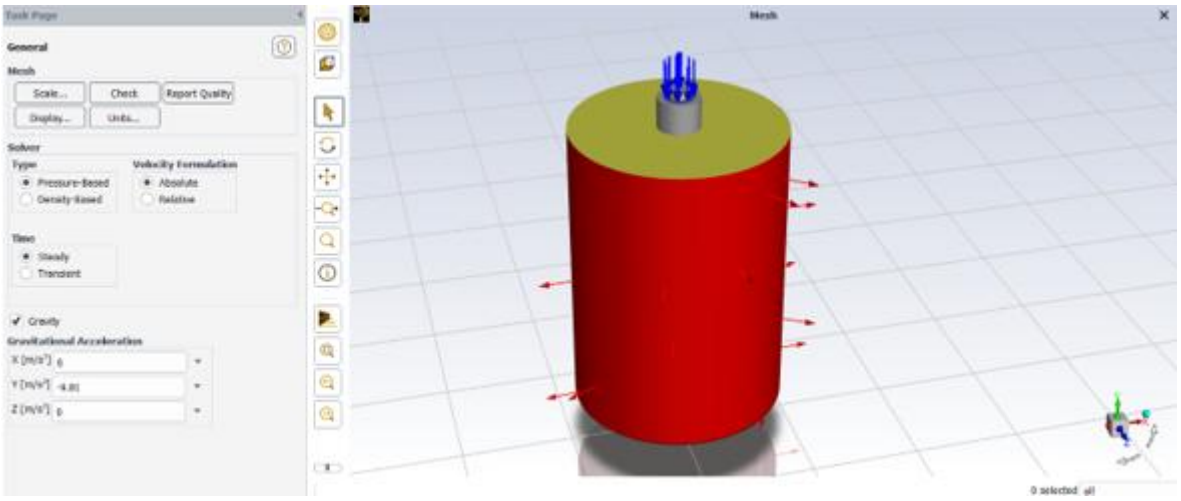
Literatürde yer alan çalışmalar ve benzer deneysel bulgular, hava ve sıvı fazların nozul içerisinde ayrı kanallardan ilerleyerek nozul çıkışında (atmosfer koşullarında) etkileşime girmesi sonucu daha etkin bir atomizasyon sağlandığını göstermektedir. Bu doğrultuda, önerilen nozul tasarımının temel geometrik kurgusu bu prensip esas alınarak oluşturulmuştur. Nozul geometrisinde uç bölge, atomizasyon sürecini belirleyen en kritik kısımdır. İç kanaldan çıkan sıvı faz ile çevresel kanallardan yönlendirilen gaz fazının bu noktadaki etkileşimi; hız dağılımı, kesme gerilmesi ve aerodinamik yapı üzerinde belirleyici rol oynayarak püskürtme performansını doğrudan etkilemektedir.

Püskürtme prosesi ve hedeflenen atomizasyonun en verimli şekilde sağlanabilmesi amacıyla, öncelikle iç akışı belirleyen temel geometrik parametreler olan giriş ve çıkış çapları tanımlanmıştır. Bu çaplar teorik hesaplamalar yardımıyla belirlenmiştir.

Tasarım sürecinde değişken olarak ele alınan parametreler; hava kanallarının sayısı, kanalların gövde ile yaptığı açı ve iç akışı doğrudan etkileyen karakteristik çaplar olmuştur. Değişkenlik gösteren kanal parametreleri, belirli kombinasyonlar hâlinde hem CFD ortamında analiz edilmiş hem de Python tabanlı hesaplama kodları geliştirilerek Anaconda Spyder yazılımı üzerinden çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sayısal veriler ve grafikler aracılığıyla görselleştirilerek değerlendirilmiştir.

Sayısal akışkanlar dinamiği (CFD) analizleri, sıvı–gaz fazları arasındaki serbest yüzey etkileşimlerini yüksek doğrulukla modelleyebilmesi nedeniyle Volume of Fluid (VOF)

yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde enjeksiyon tanımlamasının uygulanması, atomizasyon ve püskürtme sürecine ait akış karakteristiklerinin daha gerçekçi sonuçlarla elde edilmesine olanak tanımıştır.[5]



Şekil 3 : CFD sınır koşullarının belirlenmesi

Mavi oklar giriş fazlarını temsil ederken, kırmızı oklar modelde tanımlanan atmosferik hava çevreleme bölgesini (air enclosure) ifade etmektedir.

Tablo 1: Hesaplama alanı ve Giriş Sınır koşullarının belirlenmesi

Statik Basınç	101325 Pa
Sıcaklık	350 K
Akışkan 1	Azot
Akışkan 2	Su

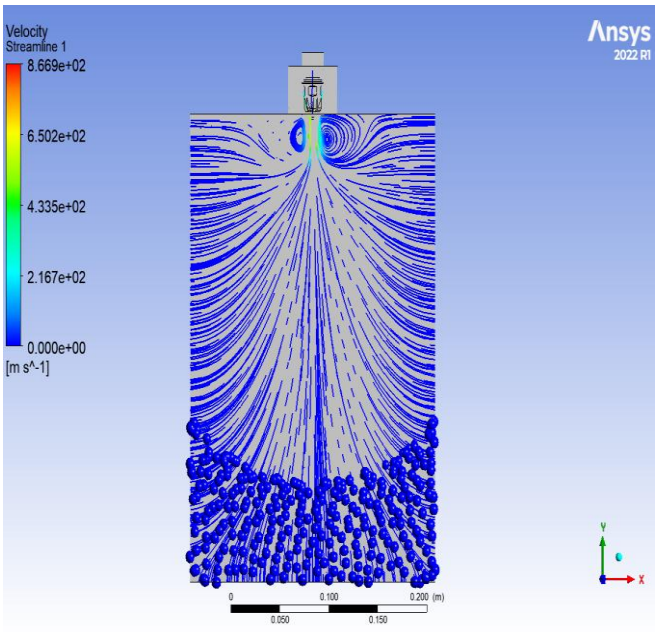
Tablo 2: Mesh ve İterasyon Verileri

Hücre Element Boyutu	3mm
Hücre Kalitesi	Ortogonallik Kalitesi 0.937 (kabul edilir)
Akış Tipi	k-epsilon
Isı transferi	Açık
Yüzey Pürüzlülüğü	0.072 N/m
Faz 1 ortalama toplam giriş basıncı	600000 Pa
Faz 2 ortalama toplam giriş basıncı	1000000 Pa
Çözüm Metodu ve iterasyon sayısı	Bağlaşık, 500

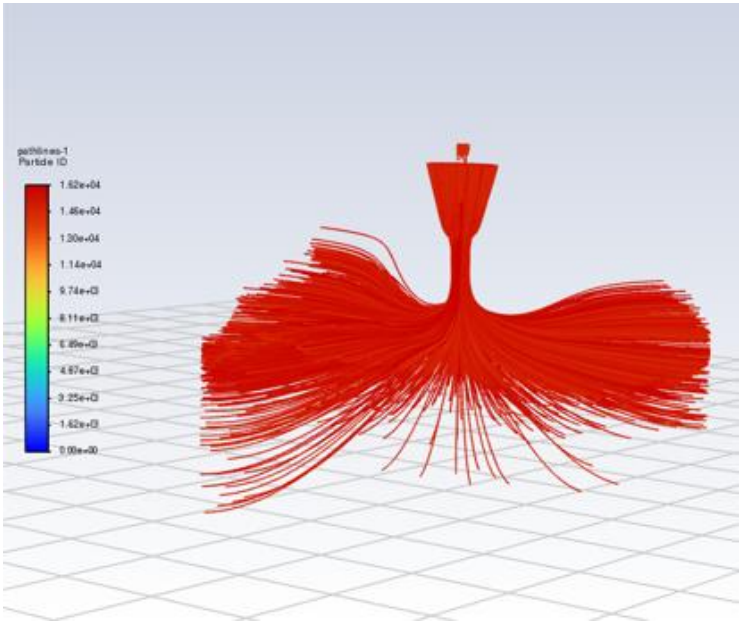
Tasarımlar, “SolidWorks® 2024” programı kullanılarak yapılmıştır. Analizler, “ANSYS® Workbench 2023 R2” programı kullanılarak yapılmıştır. Python Tabanlı Sayısal Veri Analizleri, “Anaconda3® 2025.12 (Spyder Version6)” programı kullanılarak yapılmıştır.

3. CFD Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Modelin merkezi dikey kesiti üzerindeki Hız vektörlerine ait akım çizgilerinin görseli



Şekil 4: Hız alanına ait parçacık yol çizgileri (pathline) görüntüleri



Şekil 5: Sprey modeli simülasyon görüntüsü

Şekil 4 ve Şekil 5'de, nozuldan atmosfere püskürtülen ve atomizasyona uğrayan parçacıkların izlediği akış yolları simüle edilmiş; püskürtme sonrasında oluşan sprey konisinin yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sprey deseninin boş koni (hollow cone) formunda olduğunu

ve bu yapının hedeflenen püskürtme karakteristiği ile uyumlu şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.[2]

4. Parametre Değişimlerinin Python Tabanlı Sayısal Veri Analizi ile İncelenmesi

```
liq_pressure = 10e5              # Pa
liq_density = 869               # kg/m^3
liq_viscosity = 0.003            # Pa.s
surface_tension = 0.04           # N/m
liq_orifice_diameter = 0.18e-3   # m
liq_mass_flow_kgph = 5           # kg/h
liq_mass_flow = liq_mass_flow_kgph / 3600  # kg/s
liq_volumetric_flow = liq_mass_flow / liq_density  # m³/s

# Azot (N2)
air_pressure = 3.7e5             # Pa
air_density = 4.18               # kg/m^3
air_temperature = 25 + 273.15    # K

# Hava kanalları
num_air_channels = 7           # kanal sayısı
air_channel_diameter = 0.6e-2    # m
air_channel_angle_deg = 115      # derece
air_channel_angle_rad = np.radians(air_channel_angle_deg)
air_to_nozzle_distance = 0.5e-2  # m (hava kanallarının nozul ucuna olan mesafesi)

# Sprey geometrisi
spray_angle_deg = 115
spray_angle_rad = np.radians(spray_angle_deg)
spray_length = 5e-3  # m


def velocity_from_pressure(p, rho):
    return np.sqrt(2 * p / rho)

def air_total_area(n, d):
    return n * (np.pi * (d / 2)**2)

def estimate_smd_advanced(mu, sigma, air_mass_flow, delta_v):
    return 0.5 * (mu**0.45 * sigma**0.35) / ((air_mass_flow)**0.3 * delta_v**1.5)

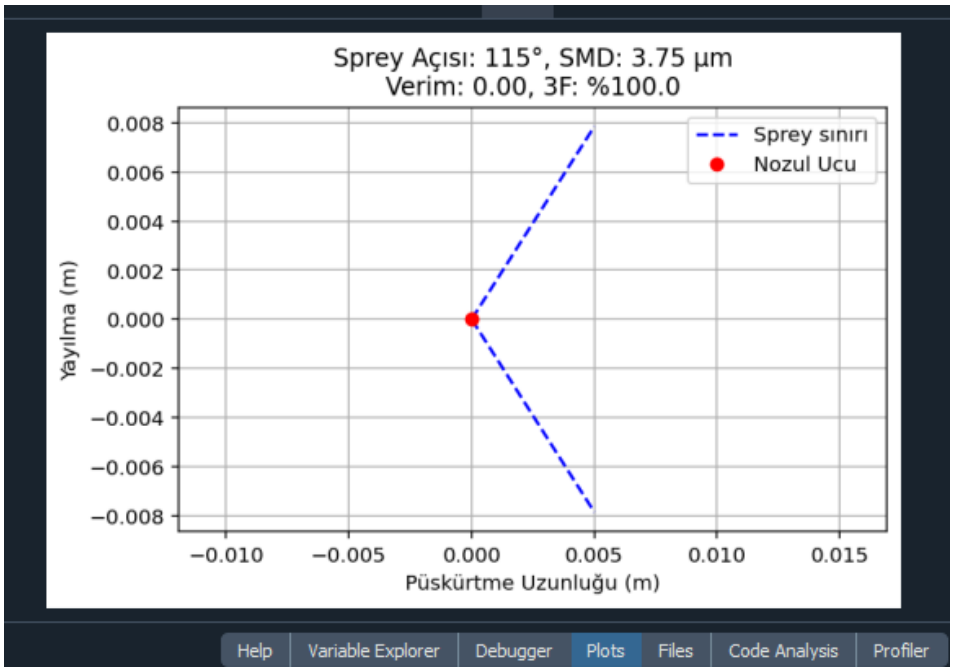
def efficiency_index(smd, air_flow_lps):
    return (1 / smd) / air_flow_lps

def fine_fraction_corrected(d_smd, d_limit=100, n=2.5):
```

Şekil 6: Python ile kod yazımı ve hesaplamalar

Şekil 6'da görüldüğü üzere, Python kullanılarak oluşturulan sayısal model aracılığıyla teorik formüller kodlanmış ve hava kanallarındaki parametre değişikliklerinin atomizasyon sonuçları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Parametre değişimleri sonucunda en verimli nozul uç parametreleri belirlenmiş, Python tabanlı kodlar Spyder ortamında çalıştırılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

Şekil 7, optimum duruma ait sonuçları göstermekte olup, elde edilen verilerin beklenen verimlilik değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir.[4].



Şekil 7: Sonuçların grafiğe dönüştürülmüş görüntüsü

5. Sonuçlar ve Tartışma

AKANA Mühendislik tarafından geliştirilen nozul tasarımı; Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri ve Python tabanlı veri analizlerinin birlikte kullanıldığı bütünleşik bir yaklaşım çerçevesinde değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, tasarımın tanımlanan çalışma koşulları altında atomizasyon prosesini hedeflenen püskürtme karakteristikleriyle ve yüksek verimlilikle gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. CFD analizleri ile nozul içi akış yapıları ve püskürtme deseni ayrıntılı biçimde incelenirken, Python tabanlı hesaplama modeli sayesinde nozul çıkış geometrisi ve işletme parametrelerindeki değişimlerin damlacık boyutu, Sauter Ortalama Çapı (SMD) ve püskürtme davranışı üzerindeki etkileri sistematik olarak analiz edilmiştir. Bu bütünleşik yöntem, prototip üretimi ve deneysel testlerin getireceği zaman ve maliyet yükünü önemli ölçüde azaltarak, püskürtme karakteristiklerinin sayısal ortamda hızlı, güvenilir ve tekrarlanabilir biçimde değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Elde edilen sonuçlar, CFD ve Python tabanlı analizlerin birlikte kullanılmasının nozul tasarım sürecinde etkin bir doğrulama ve optimizasyon aracı sunduğunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Li, H., Xiao, L., Wang, S., & Ren, G. (2024). *Atomization Performance of Spray Nozzles and Their Influence on Fine Particle Collection in the Wet Electrostatic Precipitator*. **Coatings, 14**(12), 1599.

[2] Bunio, L. (2020). An Investigation of the Evaporation Dynamics of Water Droplets and Na-Cl Water Droplets Suspended in Air by Acoustic Levitation (Master's thesis, University of Calgary,Calgary, Canada).

[3] Lefebvre, A. H., & McDonell, V. G. (2017).**Atomization and Sprays** (2nd ed.). CRC Press.

[4] Lasheras, J. C., & Hopfinger, E. J. (2000). Liquid jet instability and atomization in a coaxial gas stream. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 32, 275–308.

[5] Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). Volume of Fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201–225.

[6] Ashgriz, N. (Ed.). (2011). **Handbook of Atomization and Sprays**. Springer.

ANTİK DÖNEM BRONZ OK UÇLARININ DENEYSEL ARKEOLOJİ YÖNTEMLERİYLE ÜRETİMİ VE MİKROYAPI ANALİZİ

Ayşegül ŞEKER
Düzce Üniversitesi
seker.aysegul.96@gmail.com – 0009-0001-9256-3657

Prof. Dr. Oktay ELKOCA
Düzce Üniversitesi
oktayelkoca@duzce.edu.tr – 0000-0002-0007-0741

ÖZET

Bu çalışmada, antik dönem bronz ok uçlarının üretim süreçlerini anlamaya yönelik deneysel arkeoloji temelli bir çalışma yapılmıştır. Yaklaşık %10 Sn içeren Cu-Sn bronzlarının yanı sıra, arkeolojik buluntularda sıklıkla karşılaşılan düşük kurşun ilaveli (%6 Pb) ve yüksek kurşun ilaveli (%18 Pb) Cu-Sn-Pb alaşımları hazırlanmıştır. Döküm işlemleri, antik dönemde yaygın olarak kullanılan taş ve metal (bronz) kalıplara yeniden dökülerek gerçekleştirilmiştir. Döküm sonrasında, ok ucu üretiminde kullanıldığı düşünülen sıcak ve soğuk dövme, tavlama gibi metalurjik işlemler uygulanmış olup bu süreçlerin, alaşımların mikroyapısal özellikleri üzerindeki etkileri detaylı incelenmiştir.

Elde edilen deneysel mikroyapılar, arkeolojik kazılardan ele geçen antik dönem ok uçlarının üretim teknikleri, imalat aşamaları ve olası yeniden şekillendirme ya da tamirat uygulamalarının anlaşılmasına katkı sağlayacak veriler sunmaktadır. Bu kapsamda çalışma, ok ucu üretim teknolojilerinin rekonstrüksiyonu için hem malzeme bilimi hem de arkeoloji disiplinlerine yönelik bütüncül bir değerlendirme ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: CuSn10 Alaşımı, Döküm Tekniği, Soğuk Haddeleme, Sıcak Haddeleme

1. GİRİŞ

Ok, tarih boyunca avcılık ve savunma amaçlı kullanılan temel araçlardan biridir. Ok uçları ise bu sistemin işlevsel açıdan en önemli parçasını oluşturmaktadır. Arkeolojik çalışmalarda ele geçen ok uçları, yalnızca bir silah parçası olarak değil, üretildikleri dönemin malzeme kullanımı ve üretim anlayışı hakkında bilgi veren buluntular olarak değerlendirilmektedir. Metal ok uçları söz konusu olduğunda, kullanılan alaşım türü ve üretim sırasında uygulanan işlemler, ok ucunun dayanımı ve kullanım özellikleri üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle ok uçlarının yalnızca biçimsel özelliklerine bakmak, üretim sürecini anlamak için yeterli değildir. Üretim sırasında uygulanan mekanik ve ısıl işlemlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, antik dönem metal ok uçlarının üretim süreci deneysel yöntemlerle yeniden ele alınmıştır. Deneysel üretim sırasında farklı mekanik ve ısıl işlemler uygulanmış, elde edilen numuneler üzerinde sertlik ölçümleri ve metalürjik incelemeler yapılmıştır. Elde edilen veriler, daha önce incelenen arkeolojik buluntular üzerinde gözlenen özelliklerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Bu yaklaşım ile ok ucu üretiminde uygulanan tekniklerin ve bu tekniklerin malzeme özellikleri üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır. Ayrıca, elde edilen deneysel mikroyapılar, arkeolojik kazılardan ele geçen antik dönem ok uçlarının üretim teknikleri, kullanım şekli ya da tamirat uygulamalarının anlaşılmasına katkı sağlayacak şekilde referans oluşturacaktır.

2. DENEYSEL ARKEOLOJİ KAPSAMINDA ANTİK OK UÇLARININ YENİDEN ÜRETİMİ

Deneysel arkeoloji, arkeolojik buluntuların yalnızca biçimsel özellikleri üzerinden değil, bu nesnelerin hangi teknik bilgi, üretim organizasyonu ve işlevsel gereksinimler doğrultusunda üretildiğini anlamaya yönelik uygulamalı bir araştırma yöntemidir. Özellikle metal eserlerin değerlendirilmesinde, üretim sürecine ait izlerin doğru yorumlanabilmesi ancak bu sürecin yeniden deneyimlenmesiyle mümkün olabilmektedir (Coles, 1979; Mathieu, 2002).

Antik dönem ok uçları, savaş teknolojisi, avcılık ve savunma sistemlerinin gelişimini yansıtan önemli arkeolojik buluntular arasında yer almaktadır. Bu nesneler aynı zamanda, üretildikleri dönemin metalürjik bilgi düzeyi, alaşım tercihleri ve teknik kapasitesi hakkında doğrudan veri sunmaktadır. Bu çalışmada deneysel arkeoloji yöntemi kullanılarak antik ok uçlarının yeniden üretilmesi, arkeolojik örnekler üzerinde gözlemlenen üretim ve kullanım izlerinin daha sağlıklı biçimde yorumlanmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Yeniden üretim süreci, arkeolojik buluntulara ait tipolojik ve metalürjik veriler doğrultusunda planlanmış; modern teknolojik müdahalelerden mümkün olduğunca kaçınılarak antik dönemde uygulanmış olabilecek yöntemlere yakın bir üretim süreci hedeflenmiştir. Sürecin tüm aşamaları sistematik olarak belgelenmiş ve elde edilen sonuçlar daha önce incelenen arkeolojik örneklerle karşılaştırılmıştır.

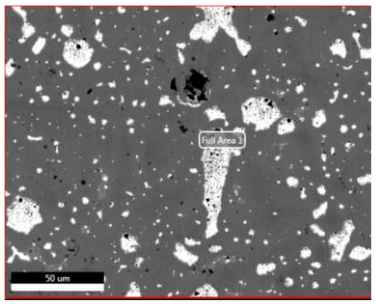
2.1. Üretilecek Ok Ucu

Deneylerde şu an İzmir Müzesi'nde bulunan ok uçlarından yararlanılmıştır. Bu çalışmada ele alınan ok ucu şekli Görsel 1'deki gibidir.

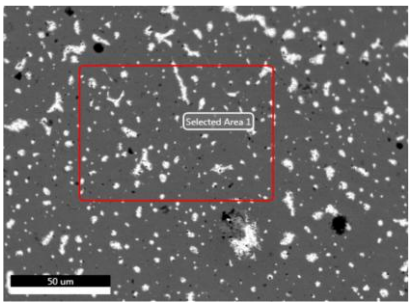


Görsel 1. İzmir Müzesi'ndeki bir ok ucu.

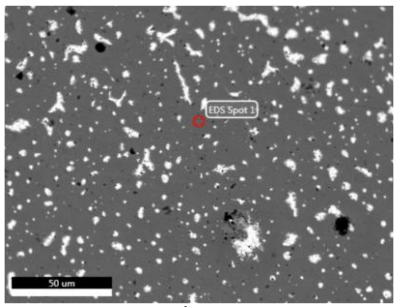
Kimyasal kompozisyon için, literatürde benzer ok uçlarından elde edilen analizlerden ve İzmir Müzesi'nde benzeri ok uçlarından etütlük olarak ayrılan bir ok ucundan yararlanılmıştır. Bu amaçla, bu tip bir ok ucunun dip kısmı metalografik yöntemle parlatılmış ve gözlenen farklı alanlar (Görsel 2-4) taramalı elektron mikroskobunda (SEM) EDS ile analiz edilmiştir (Çizelge 1).



Görsel 2. İncelenen alan.



Görsel 3. İncelenen alan.



Görsel 4. İncelenen alan.

Çizelge 1. SEM-EDS ile analiz edilen bir adet ok ucundan elde edilen veriler.

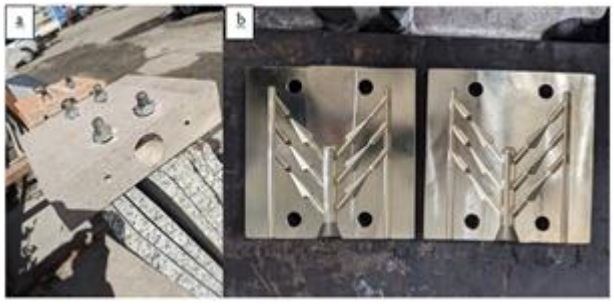
İncelenen Alan	Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Görsel 2'deki tüm alan	Cu K	81.51	91.31
	Sn L	9.13	3.21
	Pb M	9.36	5.48
Görsel 3'deki çerçevelenmiş alan	Cu K	87.15	93.64
	Sn L	8.64	4.97
	Pb M	4.21	1.39
Görsel 4'deki spot	Cu K	90.59/90.74	94.73/94.82
	Sn L	9.41/9.26	5.27/5.18

2.2. Kalıp Teknolojisi ve Üretim Süreci

Ok uçlarının dökümü için taş ve metal kalıplar üretilmiştir. Taş kalıplar, antik dönemde yaygın olarak kullanılan ve birden fazla döküme imkân tanıyan yöntemler arasında yer alırken;

bronz esaslı metal kalıplar mevcudiyetleri ender sayıdaki buluntu nedeniyle tartışma konusudur. Ancak dayanıklılıkları ve seri üretime uygunlukları ile mevcut kuşkuları ortadan kaldırmak amacıyla bu çalışmada ele alınmıştır. Kalıp yüzeylerinde oluşturulan döküm kanalları ve hava tahliye boşlukları, ergimiş metalin kalıp içerisinde homojen biçimde dağılmasını sağlamayı amaçlamıştır.

Deneysel üretim sırasında gözlemlenen kalıp aşınmaları ve yüzey izleri, arkeolojik örneklerde görülen benzer izlerle karşılaştırıldığında, kalıpların uzun süreli kullanıma bağlı olarak deformasyona uğradığı anlaşılmaktadır. Bu durum, ok ucu üretiminin süreklilik arz eden bir faaliyet olduğunu ve belirli bir üretim organizasyonu çerçevesinde gerçekleştirildiğini düşündürmektedir.



Görsel 5. Üretilen kalıplar. a) Taş kalıp ve b) Metal kalıp.

2.3. Alaşım Hazırlama ve Döküm Aşaması

Döküm aşamasında, literatürde benzer ok uçlarından elde edilen analizlerden ve İzmir Müzesi'nde benzeri ok uçlarından etütlük olarak ayrılan bir ok ucunun analizinden çıkan sonuçlardan yararlanılmıştır. Bu doğrultuda bakır esaslı alaşıma %8–10 oranında kalay ve %4–9 oranında kurşun eklenerek kurşunlu kalay bronzu elde edilmiştir. Kalay oranı, sertliği artırırken aşırı kırılganlığı önleyecek sınırlar içerisinde tutulmuş; kurşun ilavesi ise alaşımın akışkanlığını artırarak ince detayların kalıp içerisinde daha net biçimde oluşmasını sağlamıştır (Craddock, 1995; Tylecote, 1987).

Döküm öncesinde her iki kalıp yüzeyi yapışmayı engellemek için grafit tozu ile yağlanmış ve taş kalıpların çatlamasını, sıvı metalin donmadan metal kalıpta ilerlemesini sağlamak için yaklaşık 150 °C civarına ulaşacak şekilde bir şaloma ile ısıtılmıştır (Görsel 6). Ardından her iki kalıp yüzeyi bir araya getirilerek cıvatalarla sıkıştırılmıştır.



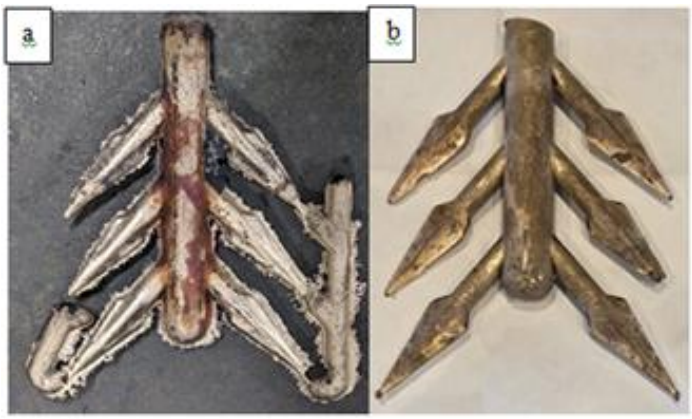
Görsel 6. Hazırlanan kalıpların ısıtılması.

Dökümler İstanbul Tuzla'daki Sağlam Metal firmasının ARGE Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 2 kg'lık indüksiyon ocağında öncelikle ergitilen bakır parçalar tamamen ergidikten sonra istenilen oranda kalay ilave edilmiştir. Kurşunlu dökümlerde kurşun ilavesi döküme yakın bir zaman gerçekleştirilmiştir. Döküm için ocaktan küçük bir grafit potaya aktarılan metal Görsel 7'deki gibi ilgili kalıplara dökülmüştür.



Görsel 7. Kalıba döküm işlemi.

Döküm sonrasında el ile dokunulabilecek bir sıcaklığa ulaşıncaya kadar kalıpların soğuması sağlanmıştır. Daha sonra kalıplar açılmış ve çıkan parçalar bir su içerisinde soğutulmuştur. Döküm sonrası elde edilen parçalar Görsel 8'deki gibidir:



Görsel 8. Kalıplardan çıkan numuneler. a) Taş kalıba dökülenler, b) Metal kalıba dökülenler.

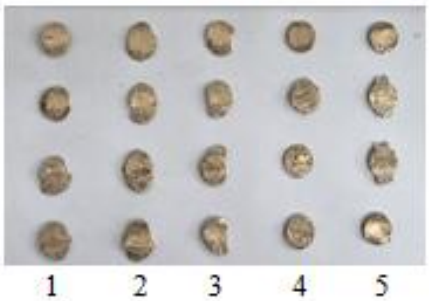
2.4. Döküm Sonrası İşlemler

Döküm işleminin ardından ok uçları kalıptan çıkarılmış ve görsel olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Döküm sonrası ok uçlarına ait gözlemler.

Numune	Numune	Eksik (Tamlıktan uzak)	Gözenekli	Çapaklı
Taş kalıp %10 Sn				x
Metal kalıp %10 Sn			x	x
Taş kalıp %6 Sn ve %3 Pb			x	
Metal kalıp %6 Sn ve %3 Pb		x		x
Metal kalıp %6 Sn ve %16 Pb		x		x

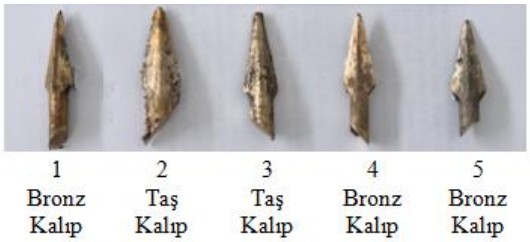
Döküm sonrası özellikle ok uçlarının ağız kısmına yakın bölgelerden çıkarılan numunelerin kenarlarına bir çekiç ile soğuk dövme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem, ok uçlarının antik dönemde çok uygulanan sertlik arttırma yöntemlerinden birisidir. (Scott, 2016).



Görsel 9. Ok uçlarından çıkarılan numuneler soğuk olarak dövüldükten sonra.

3. METALÜRJİK ANALİZ SONUÇLARI

Dökülen ok uçlarından alınan numunelerden yapılan analizler sonrasında elde edilen sonuçlar (Çizelge 3), ok uçlarının yüzdelik olarak Cu, Sn, Pb, As vb. içeriğini göstermektedir.



Görsel 10. Dökülen ok uçları.

Çizelge 3. Dökülen ok uçlarının kimyasal bileşimi (%).

Elementler	1	2	3	4	5
Zn	0	0	0	0	0
Pb	0	0	6,091	4,734	18,241
Sn	8,48	8,216	7,955	6,896	8,994
P	0	0	0	0	0
Mn	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
Fe	0,013	0,009	0,01	0,01	0,01
Ni	0,033	0,011	0,013	0,024	0,028
Si	0,01	0,005	0,006	0,006	0,009
Cr	0,004	0,004	0,004	0,004	0,006
As	0,014	0,005	0,004	0,007	0,007
Sb	0,03	0,031	0,039	0,031	0,079
Cd	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Ag	0,006	0,005	0,006	0,007	0,013
Al	0,018	0,018	0,016	0,015	0,015
Zr	0	0	0	0	0
Cu	91,389	91,633	85,863	88,262	72,537

Yeniden üretilen ok uçları üzerinde gerçekleştirilen SEM-EDS analizleri, alaşımın bakır (Cu), kalay (Sn) ve kurşun (Pb) esaslı olduğunu ortaya koymuştur. İzmir Müzesi'ndeki oklardan

elde edilen kimyasal bileşim sonuçları, Anadolu Tunç Çağı metalürjisi üzerine yapılan önceki çalışmalarla büyük ölçüde örtüşmektedir (Muhly, 1988).

3.1. Kullanım Testleri ve Analizi

Çizelge 4'de gösterilen işlemler farklı numunelere uygulanmış olup, Görsel 11'de gösterilen A, B, C bölgelerinden mikroyapı görüntüleri (Görsel 12-16) alınarak sertlik değerleri (Çizelge 5-9) ölçülmüştür.

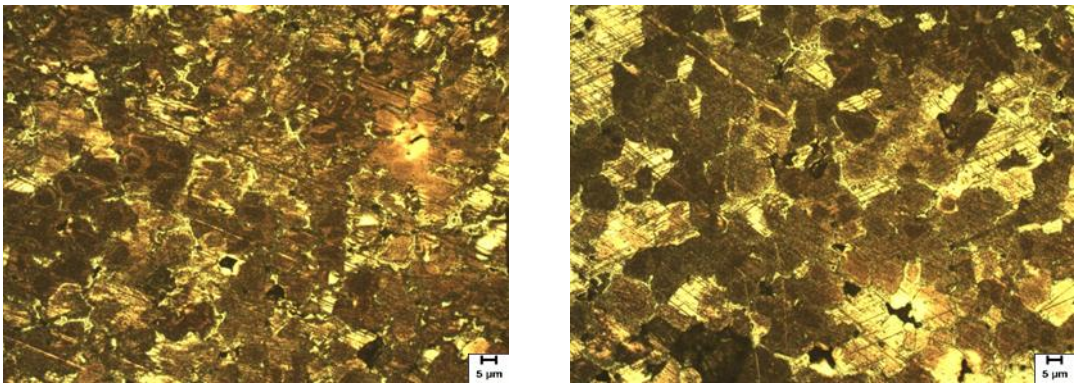
Çizelge 4. Numunelere uygulanan işlemler.



Kodlama	Açıklama
D	As-cast (Dökülmüş)
A	Annealed (Tavlanmış)
HF	Hot Forged (Sıcak Haddeleme)
CF	Cold Forged (Soğuk Haddeleme)

Görsel 11. Bakalite alınmış numuneler.

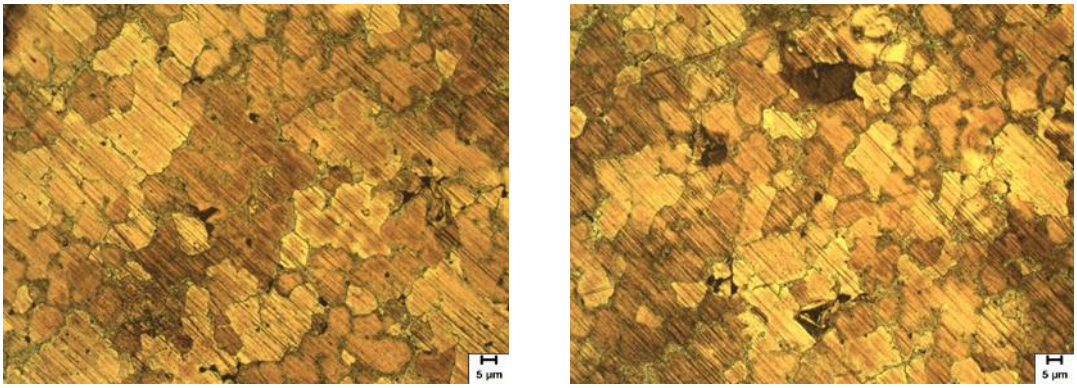
3.1.1. Mikroyapı Görüntüleri ve Sertlik Değerleri Analizi



Görsel 12. D - CF uygulanan numunelerin orta ve kenar bölgelerden alınmış mikroyapı görüntüleri.

Numunenin orta kısmından alınan mikroyapı görüntüsünde, döküm yapıya özgü özelliklerin korunduğu görülmektedir. Bu bölgede tane yapısı daha düzensiz bir dağılım sergilemekte olup, döküm sürecine bağlı olarak oluşan yapı belirginliğini korumaktadır. Soğuk şekillendirme etkisinin bu bölgede sınırlı olduğu anlaşılmaktadır.

Kenar bölgelerden alınan mikroyapı görüntülerinde ise soğuk haddeleme işleminin etkisi açık şekilde görülmektedir. Bu bölgelerde tanelerin haddeleme yönüne paralel olarak uzadığı ve deformasyona bağlı yönlenmiş bir yapı oluştuğu dikkat çekmektedir. Döküm yapıya kıyasla daha belirgin deformasyon izlerinin gözlenmesi, soğuk haddeleme işleminin özellikle kenar bölgelerde etkili olduğunu göstermektedir.

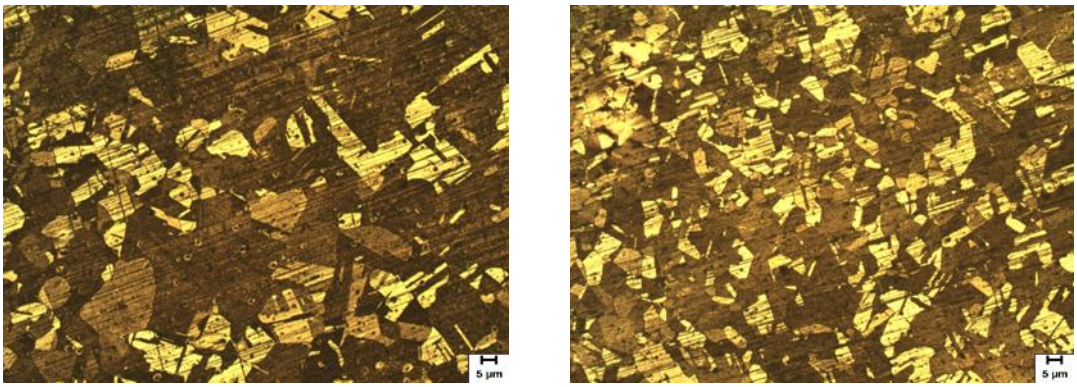


Görsel 13. D+$A_{500°C}$ - CF+$A_{500°C}$ uygulanan numunelerin orta ve kenar bölgelerden alınmış mikroyapı görüntüleri.

Numunenin orta kısmından alınan mikroyapı görüntüsünde, döküm sonrası 500°C'de tavlama (D+A) uygulanmış yapının özellikleri görülmektedir. Bu bölgede, tavlama işleminin etkisiyle tane sınırlarının daha belirgin hale geldiği ve döküm yapıya özgü düzensizliğin kısmen azaldığı anlaşılmaktadır. Mikroyapının genel olarak daha dengeli bir görünüm kazandığı gözlenmektedir.

Kenar bölgelerden alınan mikroyapı görüntülerinde ise soğuk haddeleme sonrası 500°C'de tavlama (CF+A) uygulanmış yapının etkileri dikkat çekmektedir. Bu bölgelerde, soğuk şekillendirmeye bağlı deformasyon izlerinin tavlama işlemine rağmen tamamen ortadan

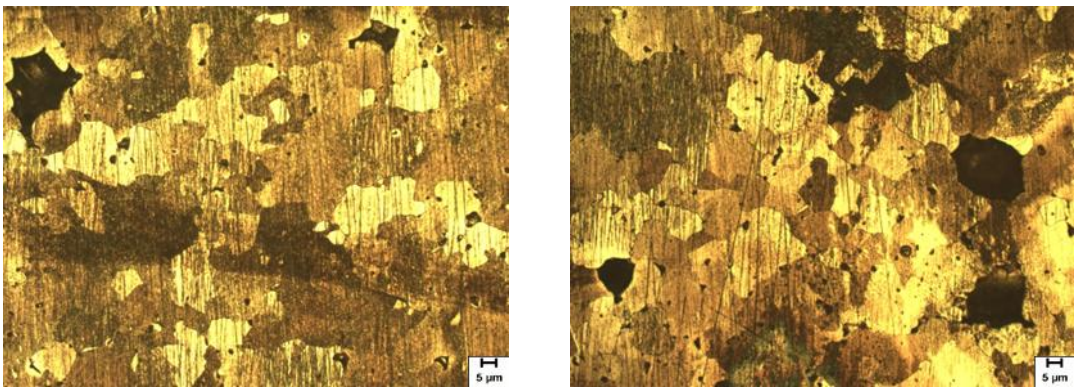
kalkmadığı ve tanelerde yönlenmiş bir yapı oluştuğu görülmektedir. Bu durum, soğuk haddeleme işleminin kenar bölgelerde daha etkili olduğunu göstermektedir.



Görsel 14. D+$A_{500°C}$ uygulanan numunelerin ortadan ve kenardan alınmış mikroyapı görüntüleri.

Bu numunelerde mikroyapı, döküm sonrası uygulanan tavlama işleminin etkilerini açık şekilde yansıtmaktadır. Orta bölgelerde döküm yapıya özgü düzensiz tane dağılımının kısmen korunduğu, ancak tavlama işlemiyle birlikte tane sınırlarının daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Yapının genel olarak daha dengeli bir görünüm kazandığı anlaşılmaktadır.

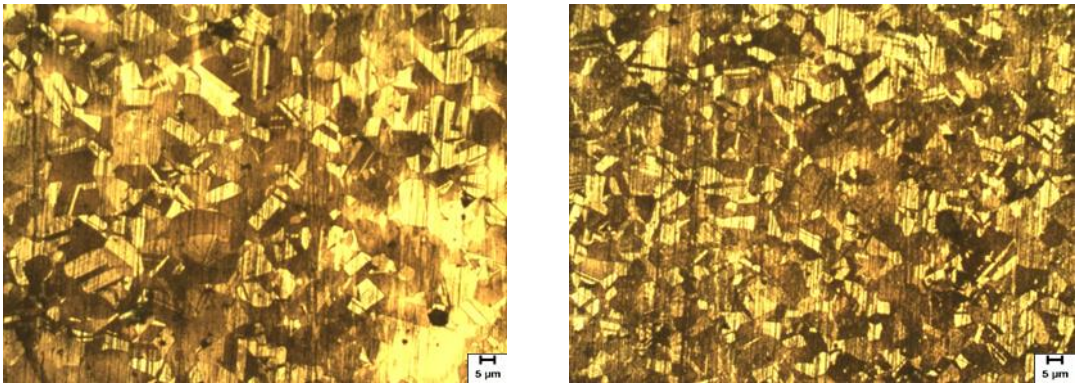
Kenar bölgelerde ise tavlama işleminin etkisi orta bölgeye benzer şekilde gözlenmekle birlikte, mikroyapıda yer yer farklılıklar dikkat çekmektedir. Döküm sırasında oluşan yapısal heterojenliğin, tavlama işlemine rağmen tamamen ortadan kalkmadığı ve bazı bölgelerde tane boyutu farklılıklarının sürdüğü görülmektedir. Bu durum, döküm sonrası uygulanan tavlama işleminin mikroyapıyı kısmen düzenlediğini, ancak tamamen homojen bir yapı oluşturmadığını göstermektedir.



Görsel 15. $HF_{700°C}$ - $HF_{700°C}$+CF uygulanan numunelerin ortadan ve kenardan alınmış mikroyapı görüntüleri.

Numunenin orta kısmından alınan mikroyapı görüntüsünde, sıcak haddeleme (HF) işleminin etkisiyle oluşan daha dengeli ve düzenli bir yapı görülmektedir. Bu bölgede, sıcak şekillendirme sırasında malzemenin daha kolay deformasyona uğraması nedeniyle tane yapısının görece homojen bir dağılım sergilediği anlaşılmaktadır.

Kenar bölgelerden alınan mikroyapı görüntülerinde ise sıcak haddeleme sonrasında uygulanan soğuk haddeleme (HF+CF) işleminin etkileri dikkat çekmektedir. Bu bölgelerde, soğuk şekillendirmeye bağlı olarak deformasyonun arttığı ve tanelerde yönlenmenin daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Bu durum, soğuk haddeleme işleminin özellikle kenar bölgelerde daha etkili olduğunu göstermektedir.



Görsel 16. $HF_{700°C}$ +$A_{500°C}$ - $HF_{700°C}$ +CF+$A_{500°C}$ uygulanan numunelerin ortadan ve kenardan alınmış mikroyapı görüntüleri.

Numunenin orta kısmından alınan mikroyapı görüntüsünde, sıcak haddeleme sonrası uygulanan tavlama (HF+A) işleminin etkisiyle mikroyapının daha düzenli ve dengeli bir görünüm kazandığı görülmektedir. Bu bölgede, tavlama işlemiyle birlikte iç gerilmelerin azaldığı ve tane yapısının daha eş boyutlu hale geldiği anlaşılmaktadır.

Kenar bölgelerden alınan mikroyapı görüntülerinde ise sıcak ve soğuk haddeleme işlemleri sonrası uygulanan tavlama (HF+CF+A) etkisi dikkat çekmektedir. Bu bölgelerde, soğuk şekillendirmeye bağlı deformasyon izlerinin tavlama işlemine rağmen tamamen ortadan kalkmadığı ve tanelerde yönlenmenin kısmen korunduğu görülmektedir. Bu durum, soğuk haddeleme işleminin kenar bölgelerde daha belirgin etkiler bıraktığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Görsel 12-16 arasında sunulan mikroyapı görüntüleri, uygulanan mekanik ve ısıl işlemlerin malzeme iç yapısını doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Döküm yapıya ait özellikler, özellikle yalnızca döküm veya döküm sonrası tavlama uygulanan numunelerin orta bölgelerinde daha belirgin şekilde korunmuştur. Soğuk haddeleme uygulanan bölgelerde, özellikle kenar kısımlarda, deformasyona bağlı tane uzamaları ve yönlenmiş bir yapı oluştuğu gözlenmiştir. Sıcak haddeleme ve tavlama işlemleri ise mikroyapının daha dengeli ve homojen bir görünüm kazanmasına katkı sağlamıştır. Elde edilen mikroyapı bulguları, uygulanan işlemlerin türü ve sırasının nihai yapı üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5. D - CF uygulanan numunelerin sertlik değerleri. (HV 0,05)

1. Numune		2. Numune		3. Numune		4. Numune		5. Numune	
A_{ort}	236	A_{ort}	249	A_{ort}	215	A_{ort}	165	A_{ort}	201
B_{ort}	150	B_{ort}	149	B_{ort}	123	B_{ort}	145	B_{ort}	105

C_{ort}	228	C_{ort}	240	C_{ort}	215	C_{ort}	142	C_{ort}	186

Döküm sonrası kenar bölgelere uygulanmış olan soğuk haddeleme işlemi, orta ve kenar bölgeleri arasında sertlik değerlerinde belirgin farklılıklara neden olmuştur. Orta bölgelerde döküm yapının etkisiyle daha düşük sertlik değerleri elde edilirken, kenar bölgelerde soğuk haddeleme işleminin etkisiyle sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum, soğuk şekillendirme sırasında deformasyonun özellikle kenar bölgelerde yoğunlaştığını ve buna bağlı olarak sertliğin arttığını göstermektedir.

Çizelge 6. $D+A_{500°C}$ - $CF+A_{500°C}$ uygulanan numunelerin sertlik değerleri. (HV 0,05)

1. Numune		2. Numune		3. Numune		4. Numune		5. Numune	
A_{ort}	126	A_{ort}	147	A_{ort}	148	A_{ort}	120	A_{ort}	116
B_{ort}	152	B_{ort}	129	B_{ort}	124	B_{ort}	133	B_{ort}	111
C_{ort}	137	C_{ort}	156	C_{ort}	144	C_{ort}	157	C_{ort}	129

Döküm sonrası tavlama uygulanan numunelerde, sertlik değerlerinin döküm yapıya kıyasla daha dengeli bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Kenar bölgelerde ise soğuk haddeleme sonrası tavlama işleminde sertlik değerlerinin tavlama etkisiyle azaldığı, ancak tamamen döküm seviyesine inmediği görülmektedir. Bu sonuçlar, tavlama işleminin soğuk şekillendirmeye bağlı sertleşmeyi azalttığını ancak tamamen ortadan kaldırmadığını göstermektedir.

Çizelge 7. $D+A_{500°C}$ uygulanan numunelerin sertlik değerleri. (HV 0,05)

1. Numune		2. Numune		3. Numune		4. Numune		5. Numune	
A_{ort}	149	A_{ort}	142	A_{ort}	219	A_{ort}	212	A_{ort}	193
B_{ort}	165	B_{ort}	211	B_{ort}	154	B_{ort}	119	B_{ort}	119
C_{ort}	217	C_{ort}	230	C_{ort}	113	C_{ort}	116	C_{ort}	108

Sadece döküm ve tavlama işlemi uygulanan numunelerde, sertlik değerlerinin numuneler ve ölçüm bölgeleri arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Bazı kenar bölgelerde nispeten yüksek sertlik değerleri ölçülmesi, döküm yapının ve tavlama sonrası oluşan mikroyapının sertlik üzerinde etkili olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte bu etki, tüm numunelerde benzer şekilde gözlenmemektedir.

Çizelge 8. $HF_{700°C}$ - $HF_{700°C}$ +CF uygulanan numunelerin sertlik değerleri. (HV 0,05)

1. Numune		2. Numune		3. Numune		4. Numune		5. Numune	
A_{ort}	125	A_{ort}	125	A_{ort}	118	A_{ort}	111	A_{ort}	114
B_{ort}	120	B_{ort}	118	B_{ort}	117	B_{ort}	130	B_{ort}	126
C_{ort}	122	C_{ort}	118	C_{ort}	110	C_{ort}	121	C_{ort}	120

Orta bölgelerde sıcak haddeleme işlemi sonrası ölçülen sertlik değerlerinin, daha dengeli bir dağılım sergilediği görülmektedir. Kenar bölgelerde ise sıcak haddeleme sonrası uygulanan soğuk haddeleme işlemiyle birlikte sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, soğuk şekillendirmenin sertlik üzerindeki etkisinin kenar bölgelerde daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 9. $HF_{700°C}$ +$A_{500°C}$ - $HF_{700°C}$ +CF+$A_{500°C}$ uygulanan numunelerin sertlik değerleri. (HV 0,05)

1. Numune		2. Numune		3. Numune		4. Numune		5. Numune	
A_{ort}	101	A_{ort}	116	A_{ort}	122	A_{ort}	120	A_{ort}	118
B_{ort}	142	B_{ort}	142	B_{ort}	129	B_{ort}	123	B_{ort}	123
C_{ort}	118	C_{ort}	116	C_{ort}	115	C_{ort}	118	C_{ort}	114

Numunenin orta kısmında, sıcak haddeleme sonrası uygulanan tavlama işlemiyle birlikte sertlik değerlerinin daha dengeli ve kararlı bir seviyeye ulaştığı görülmektedir. Kenar bölgelerde ise sıcak ve soğuk haddeleme işlemleri sonrası tavlama uygulanmasına rağmen sertlik değerlerinin orta bölgeye kıyasla daha yüksek kaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum, önceki deformasyon işlemlerinin sertlik üzerindeki etkisinin tavlama sonrasında da kısmen devam ettiğini göstermektedir.

Sertlik ölçümleri birlikte değerlendirildiğinde, uygulanan döküm, soğuk haddeleme, sıcak haddeleme ve tavlama işlemlerinin malzeme mekanik özellikleri üzerinde belirgin etkiler oluşturduğu görülmektedir. Döküm veya döküm sonrası tavlama uygulanan numunelerde daha düşük ve dengeli sertlik değerleri elde edilmiştir. Soğuk haddeleme uygulanan bölgelerde ise deformasyona bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Sıcak haddeleme ve tavlama işlemleri, sertlik dağılımının daha dengeli hale gelmesine katkı sağlamıştır. Genel olarak sertlik sonuçları, uygulanan işlemlerin türü ve sırasının malzemenin mekanik davranışı üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada antik dönem ok uçlarının üretim süreci, deneysel yöntemler ve metalürjik analizler ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ok ucu üretiminin yalnızca biçimsel değil, kullanılan malzeme ve uygulanan işlemlerle doğrudan ilişkili teknik bir süreç olduğunu göstermiştir.

Döküm, soğuk haddeleme, sıcak haddeleme ve tavlama işlemlerinin CuSn10 alaşımının mikroyapısı üzerinde belirgin etkiler oluşturduğu görülmüştür. Mikroyapı incelemeleri, orta ve kenar bölgeler arasında yapısal farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Orta bölgelerde döküm yapıya ait özellikler daha belirgin şekilde korunurken, soğuk haddeleme uygulanan kenar bölgelerde deformasyona bağlı tane uzamaları ve yönlenmiş bir yapı oluşmuştur. Sıcak haddeleme ve tavlama işlemleri, mikroyapının daha dengeli ve homojen bir görünüm kazanmasına katkı sağlamıştır.

Sertlik ölçümleri, mikroyapı bulgularını destekleyen sonuçlar vermiştir. Orta bölgelerde daha düşük ve dengeli sertlik değerleri elde edilirken, soğuk haddeleme uygulanan kenar bölgelerde sertlik değerleri artmıştır. Sıcak haddeleme ve tavlama işlemleri sonrasında sertlik dağılımının daha dengeli hale geldiği gözlenmiştir.

Farklı bölgelerden alınan sertlik ölçümleri, malzeme kesiti boyunca mekanik özelliklerin homojen olmadığını göstermiştir. Bu durum, üretim sırasında uygulanan işlemlerin her bölgede aynı etkiyi yaratmadığını ortaya koymaktadır. Genel olarak elde edilen bulgular, antik dönem ok ucu üretiminin belirli bir teknik bilgiye dayandığını ve bilinçli üretim tercihleriyle gerçekleştirildiğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

Coles, J., *Experimental Archaeology*, Academic Press, London, 1979.

Craddock, P. T., *Early Metal Mining and Production*, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1995.

Mathieu, J. R., *Experimental Archaeology: Replicating Past Objects, Behaviors, and Processes*, BAR International Series, Oxford, 2002.

Muhly, J. D., The beginnings of metallurgy in the Old World, *Journal of World Prehistory*, 2(3), 267–329, 1988.

Scott, D. A., *Ancient Metals: Microstructure and Metallurgy*, Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2016.

Tylecote, R. F., *The Early History of Metallurgy in Europe*, Longman, London, 1987.

ABS TÜPLERİN ÇARPIŞMA DAYANIMINA VE ENERJİ SÖNÜMLEME KAPASİTESİNE DİKİŞ POZİSYONUNUN ETKİSİ

Burak BOZ

Rollmech Automotive,

Burak.boz@rollmech.com - 0009-0005-5145-3995

Fadlullah YILDIRIM

Rollmech Automotive,

fadlullah.yildirim@rollmech.com - 0000-0002-4042-8234

Doç. Dr. Emre İsa ALBAK

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği

emrealbak@uludag.edu.tr - 0000-0001-9215-0775

ÖZET

Eklemeli imalatta nozülün katman başlangıç ve bitiş noktalarında oluşturduğu birleşme izi olan dikiş hattı, estetik bir kusur olmasının yanı sıra potansiyel bir mekanik zayıflık bölgesi olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, otomotiv uygulamalarında yaygın kullanılan akrilonitril bütadien stiren esaslı ince cidarlı silindirik tüplerin eksenel basma davranışı üzerinde dikiş hattı stratejisinin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Numuneler, masaüstü bir üç boyutlu yazıcı kullanılarak üç, dört, beş ve altı duvar katman sayısı için iki farklı dikiş hattı stratejisi (tek bölgede hizalı ve katmandan katmana rastgele dağıtılmış) gözetilerek üretilmiştir. Yarı statik basma deneylerinden elde edilen kuvvet–deplasman verileri kullanılarak maksimum tepe kuvveti, enerji sönümleme ve özgül enerji sönümleme değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, duvar katman sayısı arttıkça maksimum tepe kuvvetinin belirgin biçimde yükseldiğini göstermiştir. Dikiş stratejileri maksimum tepe kuvveti açısından karşılaştırıldığında farkların sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Buna karşın özgül enerji sönümleme değerleri açısından gruplar ayrışmış ve rastgele dikiş hattı stratejisinde tüm duvar katman sayılarında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Altı duvarlı numunelerde her iki strateji benzer deformasyon modları sergilerken, rastgele dikişli numunelerin tepe kuvveti sonrasında daha uzun deplasman aralığında yük taşımayı sürdürmesi toplam enerji sönümlemeyi artırmıştır. Bu bulgular, dikiş hattı stratejisinin yük taşıma kapasitesini sınırlı düzeyde etkilerken enerji sönümleme performansını belirgin biçimde değiştirebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, eriyik yığma modelleme, akrilonitril bütadien stiren, dikiş hattı, enerji sönümleme.

THE EFFECT OF SEAMING POSITION ON THE COLLISION RESISTANCE AND ENERGY ABSORPTION CAPACITY OF ABS TUBES

ABSTRACT

In fused deposition modeling, the joining trace formed at the start and end points of each layer, referred to as the “seam line,” is not only an aesthetic defect but also a potential mechanical weakness. In this study, the effect of seam-line strategy on the axial compression behavior of thin-walled cylindrical tubes made of acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS), widely used in automotive applications, was investigated experimentally. Specimens were produced using a desktop three-dimensional printer with two seam-line strategies: (i) a single-location aligned seam line and (ii) a seam line distributed randomly from layer to layer. For each strategy, four wall counts (three, four, five, and six walls) were manufactured. Based on quasi-static axial compression tests, force–displacement data were used to calculate the peak load, absorbed energy, and specific energy absorption normalized by specimen mass. The results showed that the peak load increased markedly with increasing wall count. When the two seam strategies were compared in terms of peak load, the differences remained limited. In contrast, the groups clearly separated in specific energy absorption, and the random seam strategy yielded higher values for all wall counts. While both strategies exhibited similar deformation modes in the six-wall specimens, the randomly seamed samples sustained load over a longer post-peak displacement range, leading to greater total energy absorption. These findings indicate that seam-line strategy may have a limited influence on load-carrying capacity but can significantly affect energy-absorption performance in thin-walled ABS structures.

Keywords: additive manufacturing, fused deposition modeling, acrylonitrile–butadiene–styrene, seam line, specific energy absorption

1. GİRİŞ

Katmanlı imalat yöntemlerinden eriyik yığma modelleme tekniği, düşük ekipman maliyeti ve kolay erişilebilirliği sayesinde hem prototip hem de son kullanım parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle üretilen parçaların mekanik özellikleri; katman kalınlığı, doluluk oranı, baskı yönü, duvar sayısı ve nozulun katman başlama–bitirme konumunu belirleyen dikiş hattı gibi süreç parametrelerinden doğrudan etkilenmektedir. Dikiş hattı, parçanın çevresinde süreksizlik oluşturarak yerel gerilme yığılmalarına ve yönlenmiş zayıflık bölgelerine neden olabilmektedir. [1,2].

Literatürde katmanlı imalatla üretilen parçaların çekme ve eğilme davranışına odaklanan çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, dikiş hattı stratejisinin, farklı et kalınlıklarına sahip ince duvarlı parçaların basma davranışı, malzeme kullanımı ve baskı maliyeti üzerindeki etkileri sınırlı olarak incelenmiştir. Özellikle mühendislik uygulamalarında sıkça tercih edilen akrilonitril bütadien stiren esaslı polimerlerin, dikiş hattı konfigürasyonuna bağlı olarak sergilediği basma performansının ortaya konulması, tasarımcı ve üretim mühendislerine süreç parametresi seçiminde yol gösterici olacaktır. [3,4].

1.1. Amaç

Bu çalışmanın amacı, eriyik yığma modelleme yöntemiyle üretilen akrilonitril bütadien stiren esaslı ince duvarlı numunelerde, iki farklı dikiş hattı stratejisinin basma davranışı ve üretim verimliliği üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu kapsamda, tek bir hatta toplanmış dikiş hattına sahip numuneler ile dikiş hattı çevreye rastgele dağıtılmış numuneler; üç, dört, beş ve altı duvar katman sayısında karşılaştırılacaktır.

Çalışmada her bir numune grubu için kuvvet–deplasman verileri elde edilerek maksimum basma kuvveti, rijitlik ve göçme modu belirlenecek; ayrıca dilimleme yazılımı çıktıları kullanılarak numune başına malzeme miktarı, baskı süresi ve buna bağlı malzeme maliyeti hesaplanacaktır. Bu sayede dikiş hattı stratejisinin hem mekanik performans hem de malzeme ve maliyet açısından hangi koşullarda avantaj veya dezavantaj oluşturduğu ortaya konulacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışmada, eriyik yığma modelleme yöntemiyle üretilen akrilonitril bütadien stiren esaslı ince duvarlı numunelerde dikiş hattı stratejisinin basma davranışına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel tasarımda iki farklı dikiş hattı stratejisi (tek konumlu dikiş hattı ve rastgele dağıtılmış dikiş hattı) ile dört farklı duvar sayısı (dolayısıyla et kalınlığı) bir arada değerlendirilmiştir. Böylece dikiş hattı konfigürasyonu ve et kalınlığının basma performansı üzerindeki birlikte ve ayrı etkilerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Numuneler, ticari bir masaüstü üç boyutlu yazıcı kullanılarak akrilonitril bütadien stiren esaslı filament ile üretilmiştir. Tüm numunelerde aynı yazıcı, aynı dilimleme yazılımı ve aynı baskı parametreleri kullanılmış; yalnızca dikiş hattı stratejisi değiştirilmiştir. İnce duvarlı numune geometrisi için dört farklı duvar sayısı (dolayısıyla et kalınlığı) seçilmiştir: 0,4 mm, 0,8 mm, 1,2 mm ve 1,6 mm. Her bir duvar sayısı (dolayısıyla et kalınlığı) için tek konumlu dikiş hattına sahip numune grupları ABS1, ABS2, ABS3 ve ABS4 olarak adlandırılmış; karşılık gelen rastgele dikiş hattı içeren numune grupları ise ABSR1, ABSR2, ABSR3 ve ABSR4 olarak tanımlanmıştır. Her kalınlık ve dikiş hattı kombinasyonu için en az iki, çoğu durumda üç tekrar numunesi üretilmiştir. Baskılar sabit katman kalınlığı, doluluk oranı, yazıcı kafası sıcaklığı, tabla sıcaklığı ve baskı hızı değerleri korunarak gerçekleştirilmiştir.

2.3. Üç Boyutlu Yazıcı ve Baskı Parametreleri

Numuneler, masaüstü tipi bir eriyik yığma modelleme yazıcısı ile akrilonitril bütadien stiren esaslı filament kullanılarak üretilmiştir. Tüm baskılarda filament çapı, katman kalınlığı, doluluk oranı, baskı hızı ve sıcaklık ayarları sabit tutulmuştur. Dikiş hattı stratejileri hariç tüm parametreler gruplar arasında aynı seçilerek, basma davranışı üzerindeki farkın yalnızca dikiş konumundan kaynaklanması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan başlıca baskı parametreleri Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Deney Numunelerinin Üretim Parametreleri

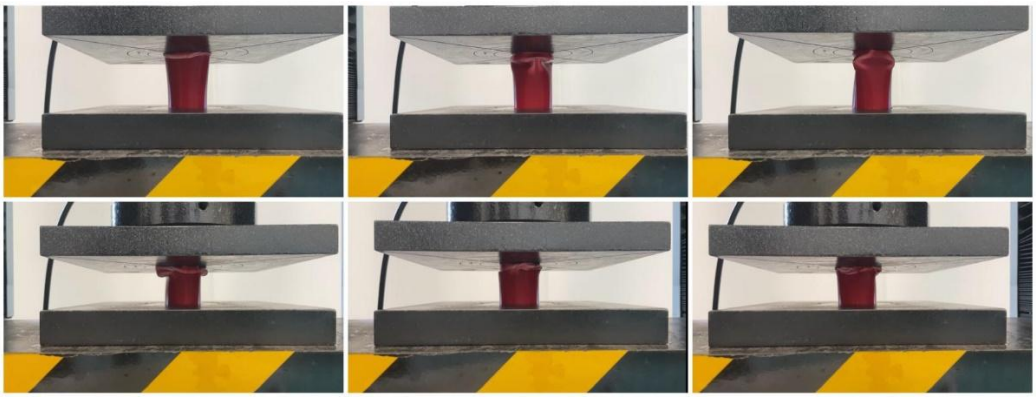
Üretim Parametresi	**Aligned (Tek Konum)**	**Random (Rastgele)**
Yazıcı Modeli	Bambu Lab H2D	Bambu Lab H2D
Nozül Çapı / Tipi	0.4 mm	0.4 mm
Katman Yüksekliği	0.2 mm	0.2 mm
Doluluk Oranı	%100	%100
Nozül Sıcaklığı	260°C	260°C
Dikiş Pozisyonu	Hizalı / Tek konum	Random
Filament	ABS	ABS

2.4. Dikiş Hattı Stratejileri

Tek konumlu dikiş hattı stratejisinde, her katmanda nozulun başlama ve bitiş noktası modelin belirlenen bir yüzünde toplanmış ve katmanlar boyunca aynı çizgide ilerlemesi sağlanmıştır. Böylece numune çevresinde doğrusal bir süreksizlik hattı oluşturulmuştur. Rastgele dikiş hattı stratejisinde ise dilimleme yazılımındaki ilgili ayar kullanılarak dikiş hattı konumu katmandan katmana rastgele dağıtılmış, böylece dikiş hattının belirli bir yüzde yoğunlaşması engellenmiştir.

2.5. Basma Deneyi

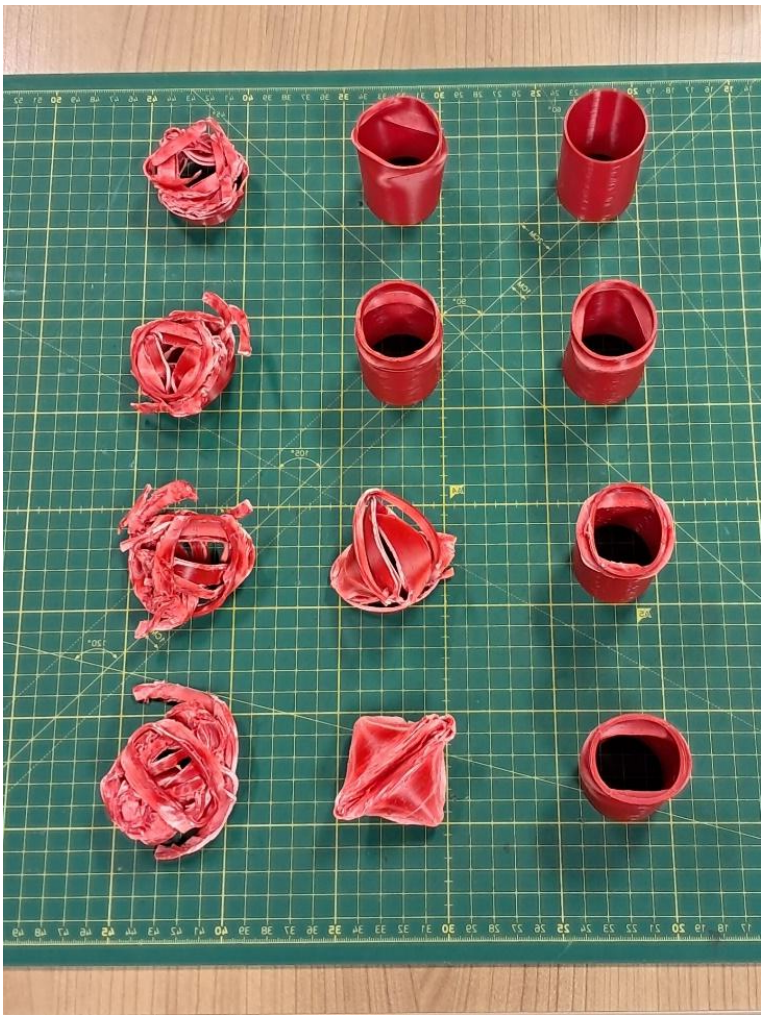
Üretilen numuneler, üniversal bir test cihazında basma yüklemesine tabi tutulmuştur. Deneyler oda sıcaklığında, sabit deplasman kontrollü yükleme hızı altında gerçekleştirilmiştir. Testler boyunca kuvvet ve deplasman verileri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Her numune için yükleme, numunenin belirgin göçme göstermesi veya cihaz strok sınırına ulaşılması ile sonlandırılmıştır. Elde edilen kuvvet–deplasman verileri sayısal ortamda işlenerek maksimum basma kuvveti ve elastik bölgede rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Basma deneyinden görseller eklenmiştir (Görsel 1).



Görsel 1. Basma deneyi görselleri

2.6. Değerlendirilen Değişkenler

Çalışmada birincil çıktılar, maksimum basma kuvveti, rijitlik ve gözlenen göçme modudur. İkincil çıktılar olarak ise dilimleme yazılımı çıktılarından elde edilen numune başına malzeme miktarı ve tahmini baskı süresi kullanılmıştır. Filamentin birim kütle maliyeti dikkate alınarak numune başına malzeme maliyeti hesaplanmış ve dikiş hattı stratejileri, hem mekanik performans hem de malzeme ve maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyin sonuçları gösterilmiştir (Görsel 2).



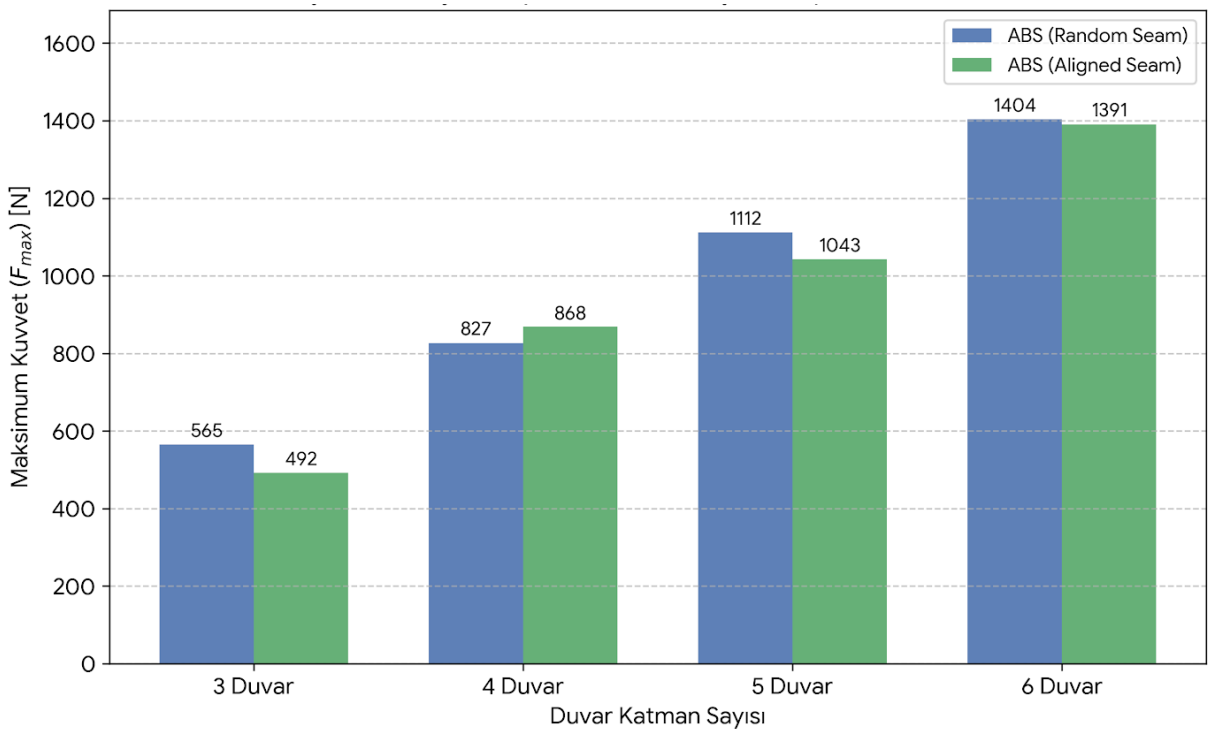
Görsel 2. Basma deneyi sonuçlarının görselleri

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan basma deneyleri sonucunda tüm numune grupları için kuvvet–deplasman eğrileri elde edilmiştir. İncelenen numunelerde basma yüklemesi altında ilk olarak yaklaşık doğrusal bir bölgeye sahip elastik davranış gözlenmiş, akabinde numune geometrisi ve dikiş hattı konfigürasyonuna bağlı olarak göçme bölgesi ortaya çıkmıştır. İnce et kalınlığında üretilen numunelerde göçme, daha düşük deplasmanlarda ve daha ani bir kuvvet kaybı ile

gerçekleşirken; et kalınlığının artmasıyla birlikte daha yüksek kuvvet ve deplasman değerlerine ulaşıldığı, göçme davranışının ise daha sünek bir karakter kazandığı görülmüştür.

Duvar katman sayısının artması, hem rastgele dikiş hattına sahip numunelerde hem de tek hizada dikiş hattı içeren numunelerde maksimum basma kuvvetinin belirgin şekilde yükselmesine neden olmuştur (Görsel 3). Benzer şekilde, kuvvet–deplasman eğrisinin elastik bölgesinden elde edilen rijitlik değerlerinin de duvar katman sayısı ile birlikte arttığı tespit edilmiştir.



Görsel 3. Dikiş pozisyonunun yük taşıma kapasitesine etkisi.

3.1. Enerji Sönümleme ve Özgül Enerji

Kuvvet–deplasman eğrisi altında kalan alan trapezoidal integrasyon yöntemi ile hesaplanarak toplam enerji sönümleme (EA) değerleri elde edilmiştir. Özgül enerji sönümleme (SEA) değeri ise toplam enerjinin numune kütlesine oranlanmasıyla hesaplanmıştır.

$$EA = \int_0^{\delta max} F(\delta) d\delta \text{ (Denklem 1)}$$

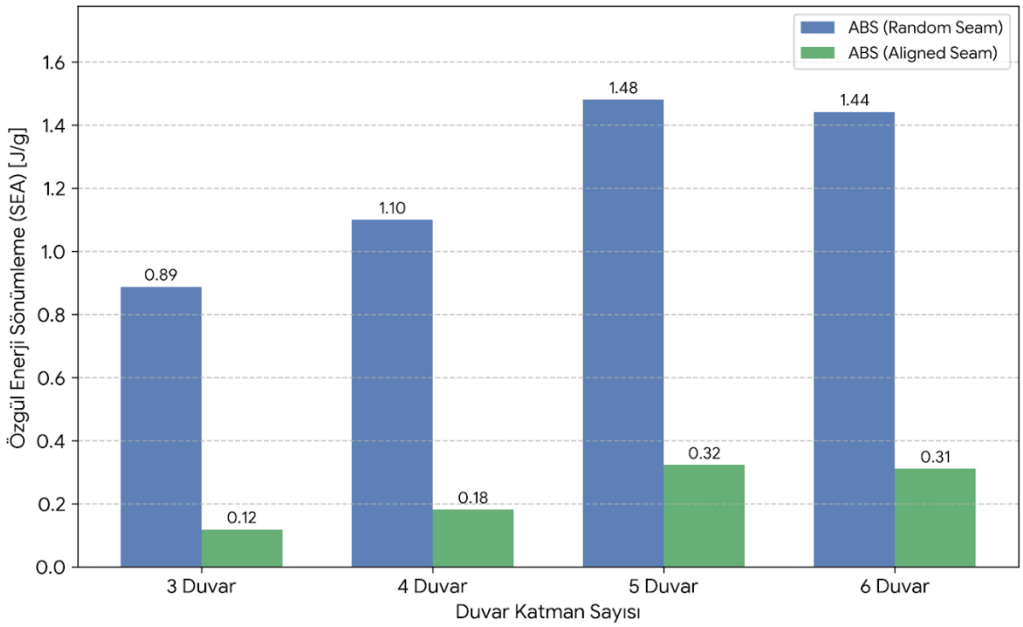
Çarpışma güvenliği açısından kritik olan Toplam Enerji (EA) ve birim kütle başına sönümlenen Özgül Enerji (SEA) değerleri Çizelge 2'te verilmiştir.

Hafifletme çalışmalarında kritik önem taşıyan Özgül Enerji Sönümleme (SEA) değeri, toplam enerjinin numune kütlesine oranlanmasıyla Denklem 2'deki gibi hesaplanmıştır.

$$SAE = \frac{EA}{m} \text{ (Denklem 2)}$$

Çizelge 2. Enerji Sönümleme ve SEA Parametreleri

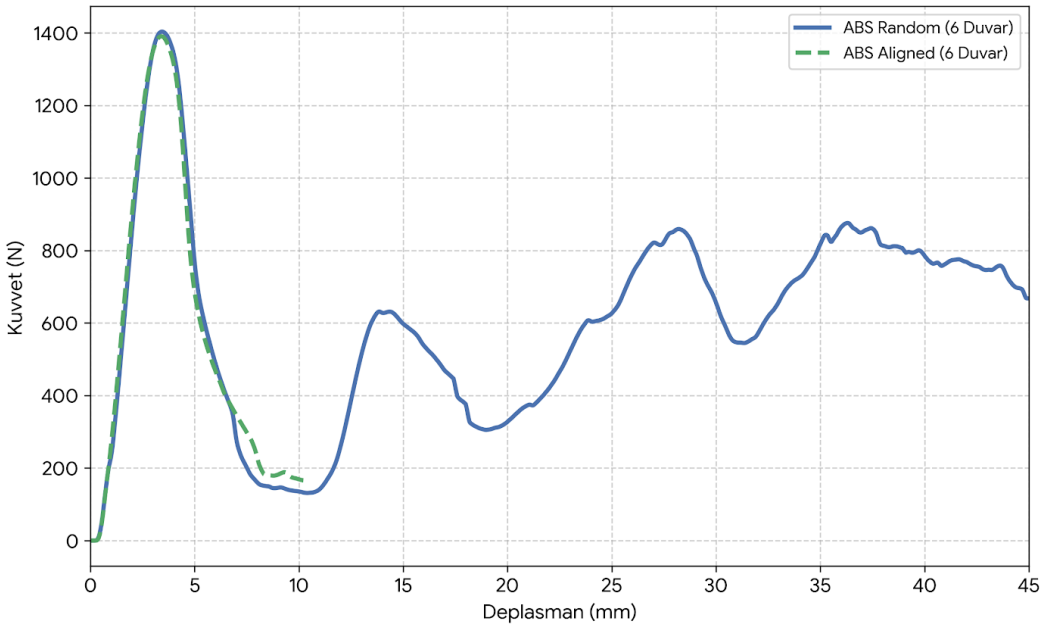
Numune Kodu	Duvar sayısı (adet)	EA (J)	Kütle (g)	SEA (J/g)
ABS1	3	0,95	7,90	0,12
ABS2	4	1,91	10,60	0,18
ABS3	5	4,19	13,10	0,32
ABS4	6	4,90	15,80	0,31
ABSR1	3	6,91	7,76	0,89
ABSR2	4	11,62	10,56	1,10
ABSR3	5	19,31	13,05	1,48
ABSR4	6	22,69	15,76	1,44



Görsel 4. Dikiş pozisyonunun enerji sönümleme verimliliğine etkisi.

Enerji sönümleme performansı, kuvvet–deplasman eğrisi altında kalan alanın numune kütlesine oranlanmasıyla elde edilen özgül enerji sönümleme değeri üzerinden değerlendirilmiştir. Duvar sayısı (dolayısıyla et kalınlığı) arttıkça özgül enerji sönümleme genel olarak artmış; ayrıca dikiş stratejileri arasında belirgin bir ayrışma gözlenmiştir (Görsel 4). Rastgele dikiş stratejisinde özgül enerji sönümleme tüm duvar sayılarında hizalı dikişe göre daha yüksek bulunmuştur (örneğin üç duvarda 0,89 J/g – 0,12 J/g; altı duvarda 1,44 J/g – 0,31 J/g).

Dikiş hattı stratejisi açısından değerlendirildiğinde, aynı et kalınlığına sahip numuneler arasında dikiş konfigürasyonuna bağlı farklılıklar gözlenmiştir. Tek konumlu dikiş hattına sahip numunelerde, göçme davranışının çoğunlukla dikiş hattının konumlandığı bölgeye yöneldiği, bu bölgede çatlak başlama ve ilerleme eğiliminin arttığı belirlenmiştir. Rastgele dikiş hattı stratejisinde ise dikiş bölgelerinin çevreye dağıtılması sayesinde süreksizliğin belirli tek bir hatta yoğunlaşmadığı, göçmenin daha yayılı bir karakter gösterdiği ve numunelerin genel olarak daha izotropik bir davranış sergilediği gözlenmiştir. Bu durum, bazı et kalınlıklarında rastgele dikiş hattına sahip numunelerde maksimum basma kuvveti ve rijitlik değerlerinin, tek konumlu dikiş hattına sahip numunelere göre daha yüksek olmasına neden olmuştur. Bu fark, özellikle 6 duvarlı numunelere ait kuvvet–deplasman eğrilerinde belirgin şekilde gözlenmektedir (Görsel 5).



Görsel 5. Rastgele ve hizalı dikişli numunelerin kuvvet–deplasman davranışlarının karşılaştırılması (6 duvar).

Maksimum tepe kuvvetlerinin yakın olmasına karşın özgül enerji sönümleme değerlerinin ayrışmasının temel nedeni, tepe kuvveti sonrası deformasyon davranışıdır. Altı duvarlı numunelerde her iki dikiş stratejisi benzer tepe kuvveti seviyelerine ulaşsa da, rastgele dikişli numunelerin daha yüksek deplasman aralığında yük taşımaya devam ettiği ve çok kademeli katlanma davranışı sergilediği görülmüştür (Görsel 5). Buna karşılık hizalı dikişli numunelerde tepe sonrası yük düşüşünün daha erken gerçekleşmesi, toplam yutulan enerjinin azalmasına yol açmıştır.

Numunelerin üretim verimliliği, dilimleme yazılımından elde edilen malzeme miktarı ve baskı süresi değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Aynı et kalınlığına sahip numunelerde dikiş hattı stratejisinin, kullanılan filament kütlesi üzerinde belirgin bir değişime yol açmadığı görülmüştür. Buna karşın, katman başlama ve bitiş noktalarının dağılımına bağlı olarak baskı yolunun kısmi olarak farklılaştığı ve bazı kalınlıklarda baskı süresinde küçük değişiklikler meydana geldiği tespit edilmiştir. Filamentin birim kütle maliyeti dikkate alınarak hesaplanan

numune başına malzeme maliyetinin, esas olarak duvar sayısı (et kalınlığı) ile ilişkili olduğu; dikiş stratejisinin ise malzeme maliyeti üzerinde ikincil düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, et kalınlığının basma performansı üzerinde birincil, dikiş hattı stratejisinin ise özellikle ince et kalınlıklarında ikincil fakat göz ardı edilemeyecek düzeyde etkili bir parametre olduğu görülmüştür. Rastgele dikiş hattı stratejisi, dikiş hattına bağlı süreksizliklerin daha homojen dağılmasını sağlayarak bazı numune gruplarında daha yüksek taşıma kapasitesi ve daha kararlı göçme davranışı ile sonuçlanmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, eriyik yığma modelleme yöntemiyle üretilen akrilonitril bütadien stiren esaslı ince cidarlı numunelerde dikiş hattı stratejisinin (tek bölgede hizalı ve katmandan katmana rastgele) ve duvar katman sayısının (üç, dört, beş ve altı duvar) eksenel basma davranışı ve enerji sönümleme performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yarı statik basma deneyleri sonucunda duvar katman sayısının artmasıyla birlikte her iki dikiş stratejisinde de maksimum tepe kuvvetinin belirgin biçimde yükseldiği görülmüştür. Dikiş stratejileri maksimum tepe kuvveti açısından karşılaştırıldığında farkların sınırlı kaldığı, özellikle altı duvarda yük taşıma kapasitelerinin birbirine yakın seyrettiği belirlenmiştir. Buna karşın enerji sönümleme ve özgül enerji sönümleme değerleri açısından gruplar ayrışmış; rastgele dikiş hattı stratejisinde tüm duvar katman sayılarında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu ayrışmanın temel nedeni, tepe kuvveti sonrasında rastgele dikişli numunelerde daha kararlı katlanma ve daha uzun deplasman aralığında yük taşınmasıdır. Üretim verimliliği açısından değerlendirildiğinde ise kullanılan malzeme miktarı ve baskı süresinin esas olarak duvar katman sayısı ile belirlendiği, dikiş stratejisinin bu çıktılar üzerindeki etkisinin ikincil düzeyde kaldığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, görsel kalite amacıyla dikiş hattının hizalanması maksimum taşıma kapasitesini belirgin ölçüde değiştirmese de, enerji sönümlemenin kritik olduğu uygulamalarda dikiş hattının çevreye dağıtıldığı stratejilerin tercih edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Ahn, S.-H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S. ve Wright, P.K., Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS, Rapid Prototyping Journal, 8(4), 248–257, 2002.

2. Stratasys, Design Considerations: FDM Additive Manufacturing Tooling, Teknik kılavuz, 2018.

3. Schumacher, C., Quantification of weld seam strength and process-specific influences in fused deposition modeling, Yüksek lisans tezi, The University of Texas at Austin, 2017.

4. Sardinha, M., Exploring the impact of seam overlap and ironing process on the tensile properties of FFF-printed samples, Yüksek lisans tezi, The University of Texas at Austin, 2024.

5. Tunay, M. and others, A study of crashworthiness performance in thin-walled multi-cell tubes 3D-printed from different polymers, Journal of Applied Polymer Science, 2024.

6. ASTM, ASTM D695: Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics, ASTM International, 2023.

FDM TEKNOLOJİSİ İLE İMAL EDİLEN ABS VE PA6 GF KOMPOZİT NUMUNELERİN BASMA DAYANIMI VE ENERJİ SÖNÜMLEME KAPASİTELERİNİN DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ

Fadlullah YILDIRIM
Rollmech Automotive,
fadlullah.yildirim@rollmech.com - 0000-0002-4042-8234
Burak BOZ
Rollmech Automotive,
Burak.boz@rollmech.com - 0009-0005-5145-3995
Özcan ATEŞ
Rollmech Automotive,
Ozcan.ates@rollmech.com - 0009-0005-0869-2747
Doç. Dr. Emre İsa ALBAK
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği
emrealbak@uludag.edu.tr - 0000-0001-9215-0775

ÖZET

Otomotiv endüstrisinde hafifletme ve mukavemet gereksinimleri, eklemeli imalatla üretilen kompozit yapıların mekanik karakterizasyonunu önemli kılmıştır. Bu çalışmada, Bambu Lab H2D yazıcısı ile üretilen ABS ve Cam Elyaf Takviyeli Poliamid 6 (PA6-GF) içi boş silindirik yapıların basma dayanımları ve enerji sönümleme kapasiteleri deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Numuneler, 40 mm dış çap ve 60 mm yükseklik ölçülerinde; 3, 4, 5 ve 6 farklı duvar katmanına sahip olacak şekilde üretilmiş ve yarı-statik basma testlerine tabi tutulmuştur. Deneysel veriler, duvar katman sayısındaki artışın her iki malzemede de yük taşıma kapasitesini doğrusal olarak artırdığını göstermiştir. Malzeme kıyaslamasında, PA6-GF numuneler, özellikle 6 duvar katmanlı yapıda ABS'e kıyasla %34,2 oranında daha yüksek maksimum kuvvet (18,77 kN) sergileyerek belirgin bir mukavemet üstünlüğü sağlamıştır. Ayrıca, PA6-GF'in yüksek rijitliği enerji sönümleme potansiyelini artırırken, ABS'in daha sünek ve kararlı bir deformasyon davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma, yapısal parça tasarımlarında malzeme ve duvar kalınlığı optimizasyonu için kritik veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, FDM, PA6-GF, ABS, Duvar Kalınlığı, Basma Testi, Yapısal Dayanım.

EXPERIMENTAL COMPARATIVE EVALUATION OF COMPRESSIVE STRENGTH AND ENERGY DISSAPING CAPACITIES OF ABS AND PA6 GF COMPOSITE SAMPLES MANUFACTURED WITH FDM TECHNOLOGY

ABSTRACT

In the automotive industry, the requirements for weight reduction and strength have made the mechanical characterization of composite structures produced by additive manufacturing crucial. In this study, the compressive strengths and energy absorption capacities of hollow cylindrical structures made of ABS and Glass Fiber Reinforced Polyamide 6 (PA6-GF) produced with a Bambu Lab H2D printer were experimentally compared. Samples were produced with 40 mm outer diameter and 60 mm height dimensions, and with 3, 4, 5, and 6 different wall layers, and subjected to quasi-static compression tests. Experimental data showed that increasing the number of wall layers linearly increased the load-carrying capacity in both materials. In the material comparison, PA6-GF samples, especially in the 6-wall layer structure, exhibited a significant strength advantage, showing a 34.2% higher maximum force (18.77 kN) compared to ABS. In addition, it was determined that the high rigidity of PA6-GF increased its energy absorption potential, while ABS showed a more ductile and stable deformation behavior. The study provides critical data for optimizing materials and wall thickness in structural component designs.

Keywords: Additive Manufacturing, FDM, PA6-GF, ABS, Wall Thickness, Compression Test, Structural Strength.

1. GİRİŞ

Otomotiv ve havacılık endüstrilerinde, performansı artırırken yakıt tüketimini ve karbon emisyonlarını düşürme hedefi, "hafifletme" çalışmalarını tasarım süreçlerinin merkezine yerleştirmiştir. Bu bağlamda, geleneksel imalat yöntemlerinin geometrik kısıtlamalarını aşan Eklemeli İmalat teknolojileri, özellikle Eriyik Yığma Modelleme (FDM) yöntemiyle nihai parça üretiminde etkin bir alternatif haline gelmiştir [1]. FDM ile üretilen parçaların mekanik performansı; katman oryantasyonu, doluluk oranı, yazdırma sıcaklığı ve ince cidarlı profillerde duvar kalınlığı gibi üretim parametrelerine sıkı sıkıya bağlıdır.

Endüstriyel uygulamalarda en yaygın kullanılan polimerlerden biri olan Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS), dengeli mekanik özellikleri ve boyutsal kararlılığı ile standart bir referans malzemesi olarak kabul edilmektedir [2]. Ancak, yüksek yük taşıma kapasitesi gerektiren zorlu mühendislik uygulamalarında standart termoplastikler yetersiz kalabilmektedir. Bu noktada, polimer matrisin tokluğu ile cam elyafların yüksek elastisite modülünü birleştiren Cam Elyaf Takviyeli Poliamid 6 (PA6-GF) kompozitleri, metal parçalara rakip olabilecek üstün bir mekanik mukavemet sunmaktadır [3].

Literatür incelendiğinde, FDM yöntemiyle üretilen polimer yapıların mekanik davranışları üzerine birçok çalışma bulunmasına rağmen [4], ABS ve PA6-GF gibi malzemelerin otomotiv şasi ve tampon sistemlerinde kullanılan içi boş silindirik geometrilerdeki basma dayanımlarının karşılaştırmalı analizi ve duvar kalınlığı optimizasyonu hala güncel bir araştırma konusudur [5]. Bu çalışmanın amacı; ABS ve PA6-GF malzemelerin basma performanslarını deneysel olarak kıyaslamak ve duvar katman sayısının yapısal rijitlik ile enerji sönümleme (*SEA*) üzerindeki etkisini nicel verilerle ortaya koymaktır.

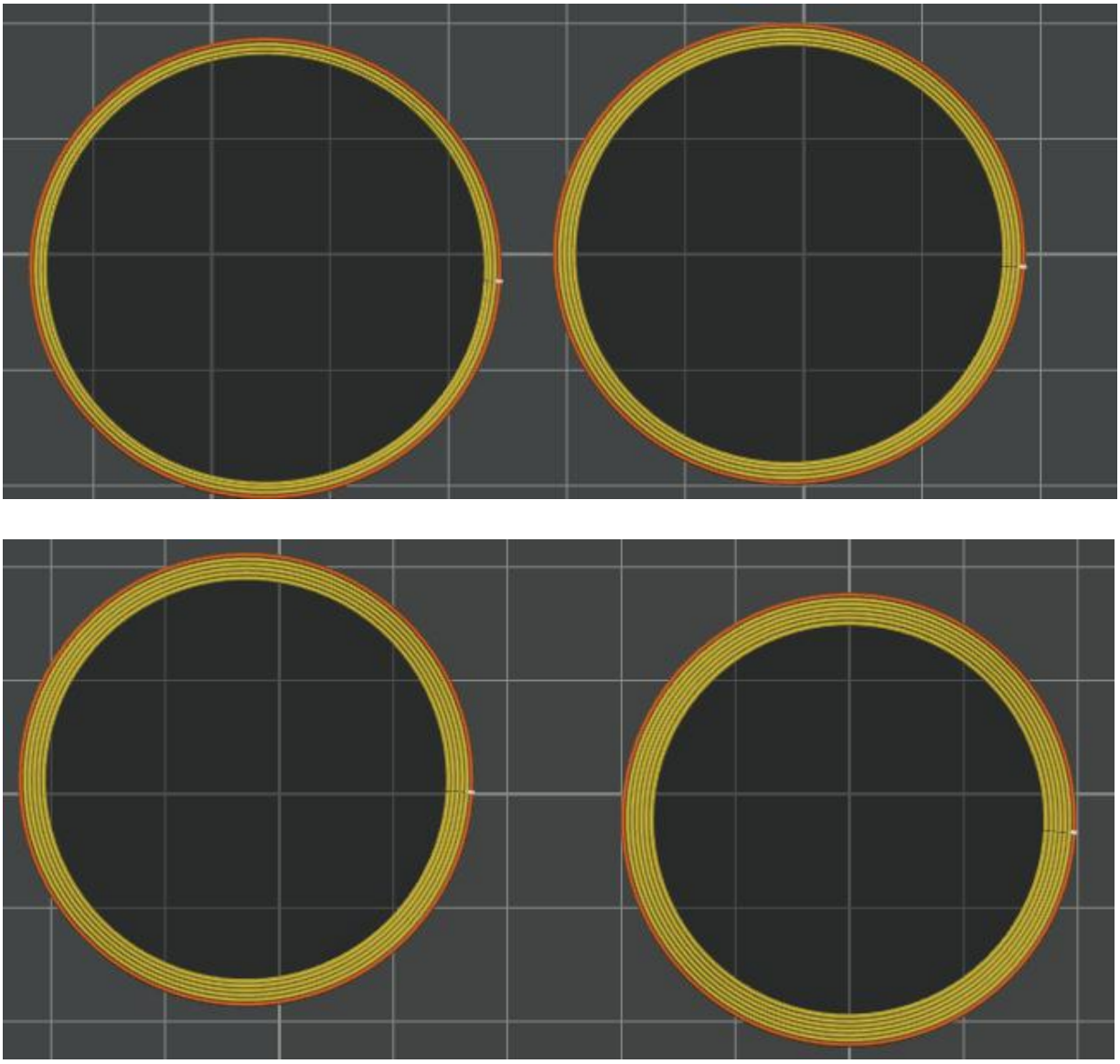
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada, matris malzeme türünün mekanik davranışa etkisini incelemek amacıyla iki farklı termoplastik filament kullanılmıştır. Standart endüstriyel uygulamaları temsilen Bambu Lab ABS ve yüksek mukavemetli mühendislik uygulamalarını temsilen Bambu Lab PA6-GF (Cam Elyaf Takviyeli Poliamid 6 Mavi) tercih edilmiştir. Poliamid bazlı malzemelerin nem tutucu yapısı nedeniyle baskı kalitesinde oluşabilecek bozulmaları önlemek amacıyla, PA6-GF filamenti üretim öncesinde 80°C sıcaklıkta 8 saat kontrollü kurutma işlemine tabi tutulmuştur. ABS malzeme ise üretici standartlarında muhafaza edilmiştir.

2.2. Numune Tasarımı ve Üretim

Numuneler, eksenel yükler altındaki burkulma ve ezilme davranışlarını analiz etmek üzere, 60 mm yükseklik ve 40 mm dış çapa sahip içi boş silindirik borular (tüpler) şeklinde tasarlanmıştır. Çalışmanın temel değişkeni olan duvar kalınlığının etkisini belirlemek amacıyla; dilimleme yazılımında 3, 4, 5 ve 6 adet duvar katmanı içeren dört farklı konfigürasyon oluşturulmuştur. Dilimleme programındaki görünüm Görsel 1'de görünmektedir. Her bir duvarda bulunan katmanın kalınlığı 0,4 mm olacak şekilde 3D yazıcıda aynı anda üretimi başlatılmıştır.



Görsel 1. 3, 4, 5 ve 6 adet duvar katmanı içeren dört farklı konfigürasyon

Numunelerin üretimi, Bambu Lab H2D FDM yazıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cam elyaf takviyesinin nozül üzerinde yaratabileceği aşındırıcı etkiyi minimize etmek ve boyutsal hassasiyeti korumak için 0,4 mm çapında sertleştirilmiş çelik nozül kullanılmıştır. Tüm numunelerde dikiş pozisyonu (Seam Position), gerilme yığılmalarını belirli bir hatta toplayarak deformasyon modunu standardize etmek amacıyla "Hizalı" (Aligned) olarak ayarlanmıştır. Üretim parametreleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Deney Numunelerinin Üretim Parametreleri

Üretim Parametresi	ABS	PA6-GF
Yazıcı Modeli	Bambu Lab H2D	Bambu Lab H2D
Nozül Çapı / Tipi	0.4 mm / Sertleştirilmiş Çelik	0.4 mm / Sertleştirilmiş Çelik
Katman Yüksekliği	0.2 mm	0.2 mm
Duvar Katman Sayıları	3, 4, 5, 6	3, 4, 5, 6
Dikiş Pozisyonu	Hizalı (Aligned)	Hizalı (Aligned)
Doluluk Oranı	%100 (Tam Dolu Duvar)	%100 (Tam Dolu Duvar)
Nozül Sıcaklığı	260°C	280°C
Tabla Sıcaklığı	90°C	100°C
Ön İşlem (Kurutma)	-	80°C, 8 Saat

2.3. Mekanik Testler

Üretilen numunelerin yarı-statik eksenel basma testleri, oda sıcaklığında (23±2°C) üniversal çekme-basma test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test hızı, ince cidarlı yapıların ezilme testlerinde literatürde yaygın olarak kullanılan 10 mm/dk sabit hızda uygulanmıştır. Numuneler, yapısal bütünlüğün tamamen bozulduğu kırılma noktasına veya %60 deformasyon oranına ulaşana kadar eksenel yüke maruz bırakılmıştır. Test süresince uygulanan kuvvet (N) ve eksenel deplasman (mm) verileri kaydedilmiş; ayrıca deformasyon modlarının (failure modes) incelenmesi amacıyla test süreci video kaydı ile belgelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Numunelerin Fiziksel ve Yapısal Özellikleri

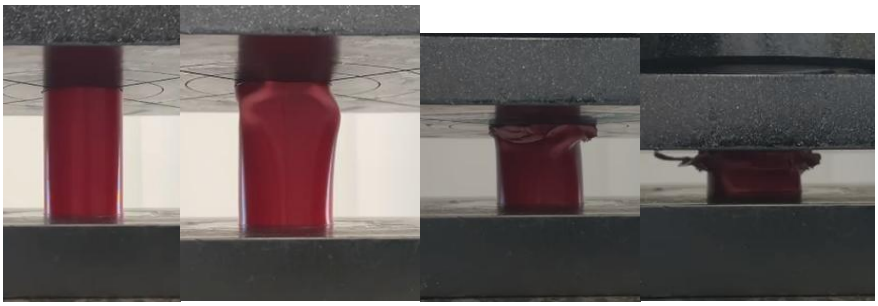
Çalışma kapsamında üretilen numunelerin geometrik özellikleri ve ölçülen kütle değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Duvar katman sayısının artırılması, numune et kalınlığını ve kütlesini doğrudan artırmıştır.

Çizelge 2. Numune Gruplarının Geometrik ve Fiziksel Özellikleri

Malzeme	Duvar Katman Sayısı	Teorik Et Kalınlığı (mm)	Numune Kütlesi (g)
ABS	3 Duvar	1.2	7,9
ABS	4 Duvar	1.6	10,6
ABS	5 Duvar	2.0	13,1
ABS	6 Duvar	2.4	18,8
PA6-GF	3 Duvar	1.2	9,5
PA6-GF	4 Duvar	1.6	12,8
PA6-GF	5 Duvar	2.0	15,8
PA6-GF	6 Duvar	2.4	19,0

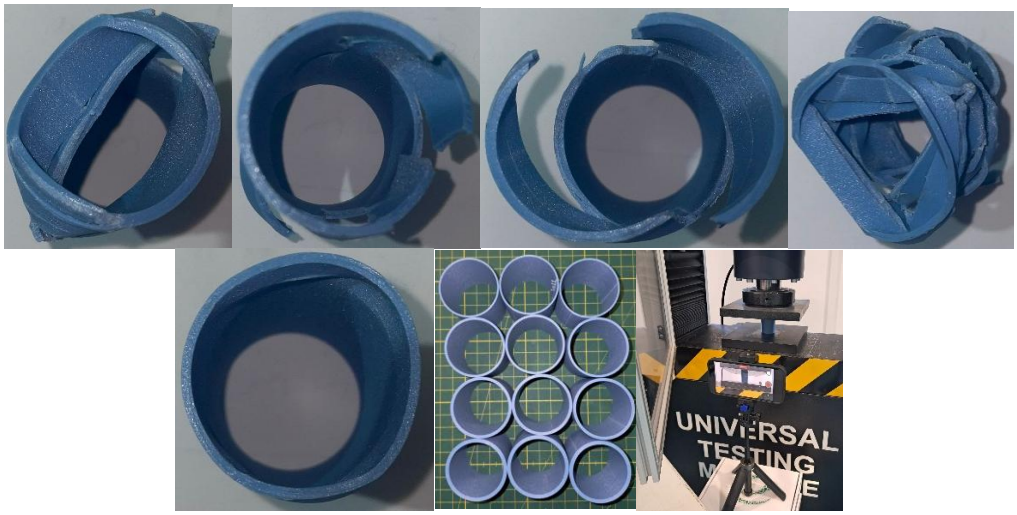
3.2. Yük Taşıma Kapasitesi

Numunelerin duvar sayısının artırılması, numune kesit alanını genişleterek her iki malzeme grubunda da yük taşıma kapasitesini ve rijitliği doğrudan etkilemiştir. Ancak, malzemelerin iç yapısındaki farklılıklar (amorf yapıdaki ABS ve elyaf takviyeli PA6-GF), bu artışa farklı tepkiler verilmesine neden olmuştur. Görsel 2 ve Görsel 3'te numunelerin basma testleri görülmektedir.





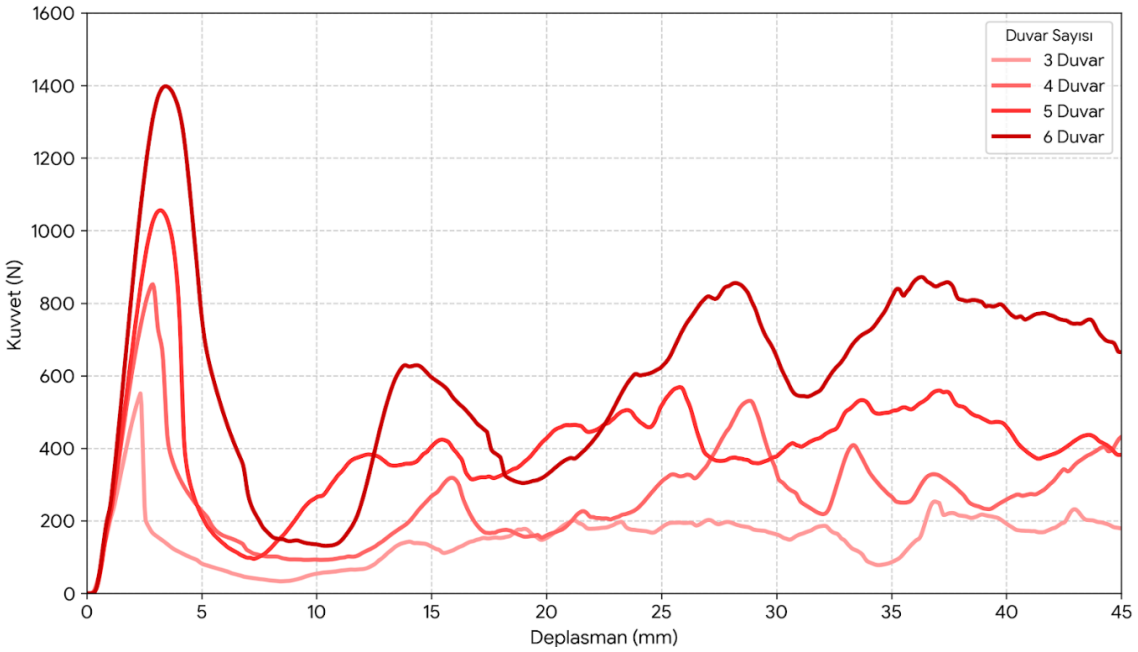
Görsel 2. ABS Numunelerin Basma Testleri



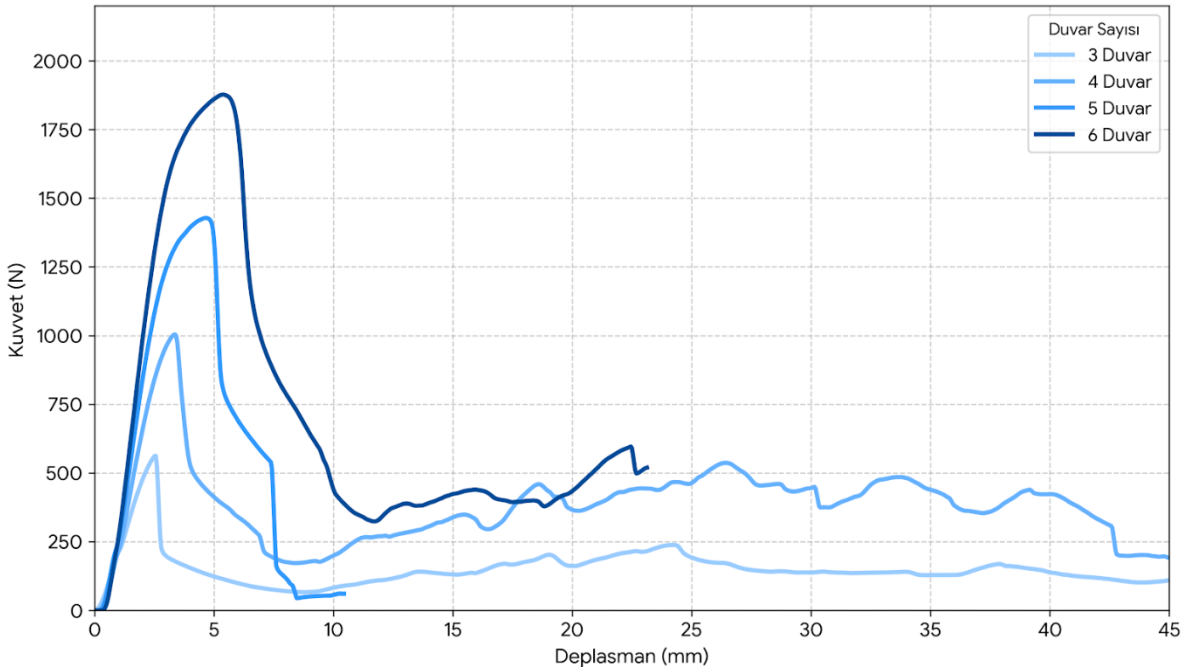
Görsel 3. PA6-GF Numunelerin Basma Testleri

Grafik 1'de ABS numunelerin farklı duvar sayılarındaki basma davranışları sunulmuştur. Grafikten görüldüğü üzere, duvar sayısı 3'ten 6'ya çıktığında malzemenin sünek deformasyon karakteristiğinde herhangi bir değişim olmamış; tüm numuneler test boyunca kopmadan düzenli katlanma davranışı sergilemiştir. Yük taşıma kapasitesi ise duvar sayısı ile orantılı ve öngörülebilir bir şekilde artış göstermiştir.

Grafik 2'de ise PA6-GF kompozit numunelerin davranışları incelenmiştir. Cam elyaf takviyesi, duvar kalınlığı arttıkça malzemenin rijitliğini çok daha belirgin bir şekilde artırmıştır. Özellikle 5 ve 6 duvarlı numunelerde tepe kuvveti (F_{max}) değerlerinde ciddi bir sıçrama görülmektedir. Ancak artan duvar kalınlığı ile malzeme daha rijit bir yapıya bürünmüş ve maksimum yükten sonraki hasar, düşük duvar sayılı numunelere kıyasla daha ani gerçekleşmiştir.



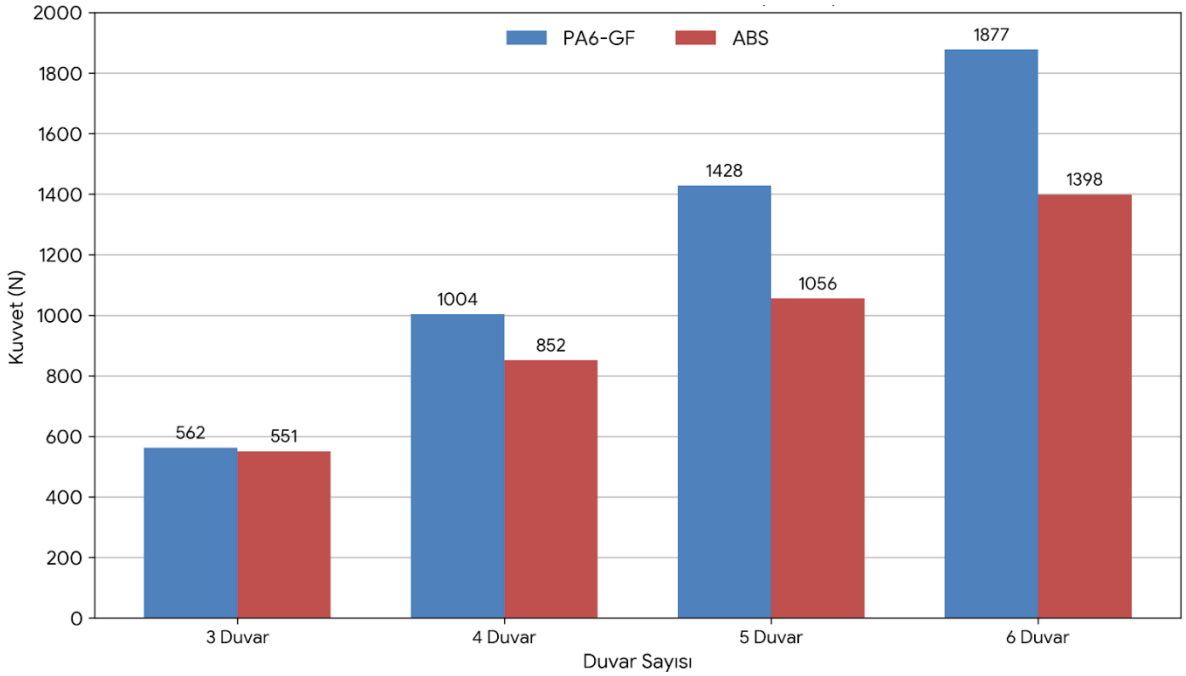
Grafik 1. ABS Numunelerde Duvar Sayısının Kuvvet-Deplasman Eğrilerine Etkisi



Grafik 2. PA6-GF Numunelerde Duvar Sayısının Kuvvet-Deplasman Eğrilerine Etkisi

Grafiklerde görüldüğü üzere ABS malzemesinde duvar kalınlığı artışı enerji sönümleme kararlılığını koruyarak mukavemeti artırırken, PA6-GF malzemesinde maksimum yük taşıma kapasitesini fark edilir bir şekilde yükseltmiştir.

Eksenel basma testlerinden elde edilen tepe kuvveti (F_{max}) değerleri Grafik 3'te ve dayanım farkı Çizelge 3'te sunulmuştur.



Grafik 3. Maksimum Basma Kuvveti F_{max}

Çizelge 3: Maksimum Basma Kuvveti (F_{max}) Dayanım Farkı

Duvar Sayısı	ABS F_{max} (N)	PA6-GF F_{max} (N)	Dayanım Farkı (%)
3 Duvar	551	562	2,0
4 Duvar	852	1004	17,8
5 Duvar	1056	1428	35,2
6 Duvar	1398	1877	34,2

Analiz sonuçları, cam elyaf takviyeli PA6-GF malzemenin özellikle yüksek et kalınlıklarında (5-6 duvar) ABS'e göre belirgin bir üstünlük sağladığını göstermektedir. 6 duvarlı PA6-GF numunesi 1877 N (yaklaşık 191 kg) yük taşıma kapasitesine ulaşarak en dayanıklı yapı olmuştur.

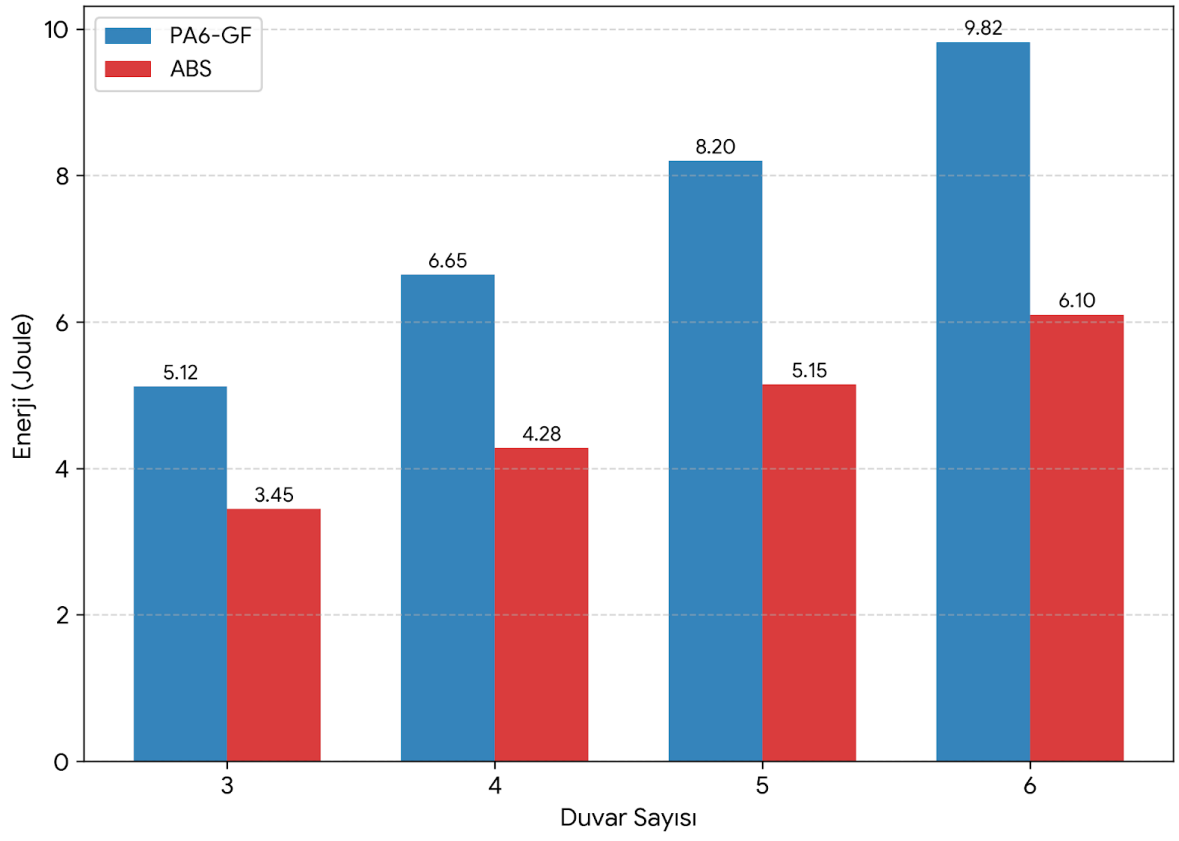
3.3. Enerji Sönümleme ve Özgül Enerji (SEA)

Otomotiv ve havacılık endüstrisinde kullanılan malzemelerin çarpışma sönümleyici performansını belirleyen en önemli parametreler toplam enerji sönümleme kapasitesi (Energy Absorption - EA) ve birim kütle başına sönümlenen özgül enerjidir (Specific Energy Absorption - SEA).

Bu çalışmada, PA6-GF numunelerinin gevrek kırılma davranışı göstererek testleri erken sonlandırması ve ABS numunelerin sünek bir şekilde 45 mm boyunca deforme olması nedeniyle, karşılaştırmanın bilimsel açıdan tutarlı olabilmesi için enerji hesaplamaları ilk 10 mm'lik ezilme bölgesi alınarak yapılmıştır. Kuvvet-Deplasman eğrileri altında kalan alan, trapezoidal integrasyon yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve toplam enerji sönümleme (*EA*) değerleri elde edilmiştir (Denklem 1).

$$EA = \int_0^{\delta max} F(\delta) d\delta \quad \text{(Denklem 1)}$$

Grafik 4'te ABS ve PA6-GF numunelerinin enerji sönümleme (*EA*) değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikten de net bir şekilde görüldüğü üzere, PA6-GF numuneler, cam elyaf takviyesinin sağladığı yüksek elastik modül ve mukavemet sayesinde, deformasyonun başlangıç aşamasında ABS numunelere kıyasla çok daha yüksek enerji sönümlemiştir.



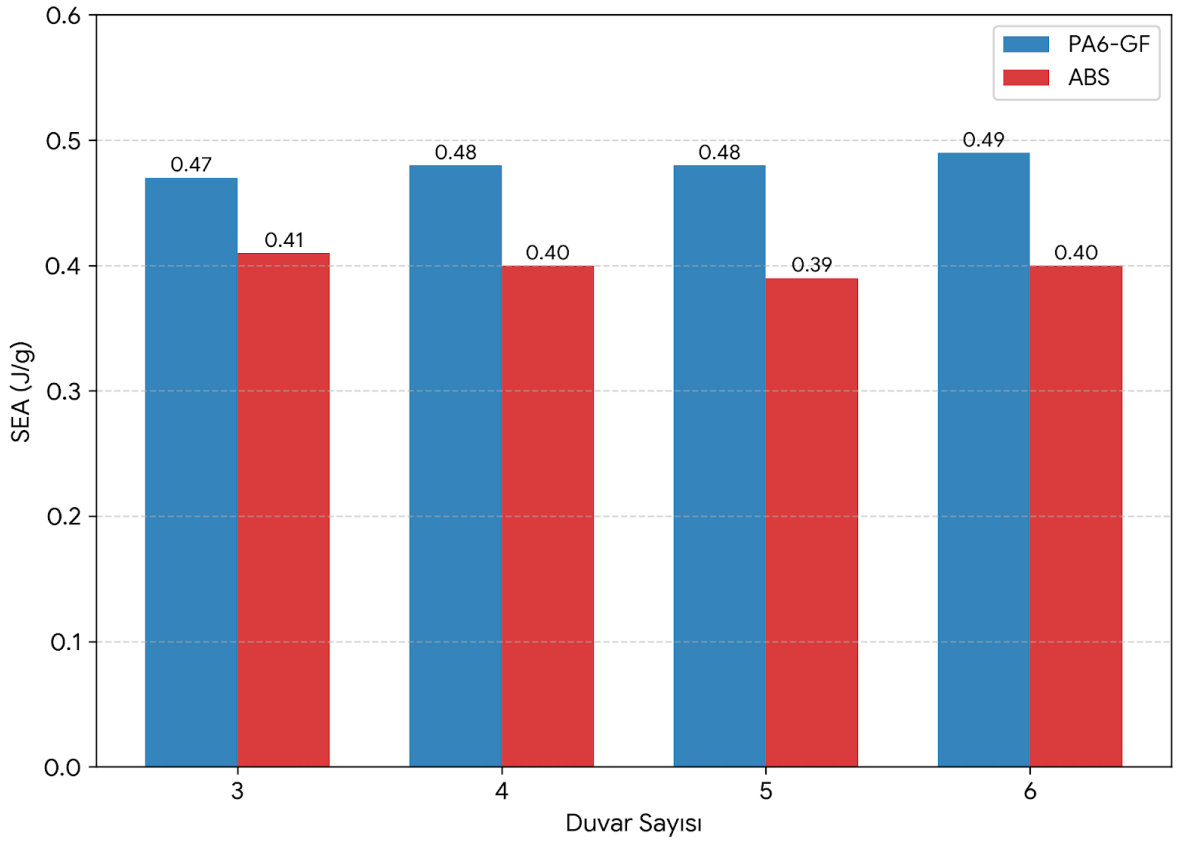
Grafik 4. Farklı Duvar Sayılarına Sahip ABS ve PA6-GF Numunelerin Enerji Sönümleme (EA) Kapasiteleri

Özellikle 6 duvarlı numuneler kıyaslandığında, PA6-GF'nin sönümlediği enerji miktarının ABS'ye göre belirgin bir üstünlük sağladığı görülmektedir. Bu durum, PA6-GF malzemesinin ani darbe yüklerini karşılama konusundaki rijit yapısının bir sonucudur.

Hafifletme çalışmalarında kritik önem taşıyan Özgül Enerji Sönümleme (*SEA*) değeri, toplam enerjinin numune kütlesine oranlanmasıyla Denklem 2'deki gibi hesaplanmıştır.

$$SEA = \frac{EA}{m} \quad \text{(Denklem 2)}$$

Grafik 5'te ise malzemelerin yoğunluk farklarının hesaba katıldığı Özgül Enerji Sönümleme (*SEA*) değerleri sunulmuştur. PA6-GF malzemesi ABS'ye göre daha yoğun bir malzeme olmasına rağmen, yüksek mukavemet/ağırlık oranı sayesinde SEA değerlerinde de ABS'nin önüne geçmiştir.



Grafik 4. Farklı Duvar Sayılarına Sahip ABS ve PA6-GF Numunelerin Özgül Enerji Sönümleme (SEA) Değerleri.

Çarpışma güvenliği açısından kritik olan Toplam Enerji (*EA*) ve birim kütle başına sönümlenen Özgül Enerji (*SEA*) değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Enerji Sönümleme ve SEA Karşılaştırması

Numune (Duvar)	Toplam Enerji (EA) [J]	Kütle [g]	SEA [J/g]
ABS (3)	3,45	7,9	0,41
ABS (4)	4,28	10,6	**0,40**
ABS (5)	5,15	13,1	**0,39**
ABS (6)	6,10	18,8	**0,40**
PA6-GF (3)	5,12	9,5	**0,47**
PA6-GF (4)	6,65	12,8	**0,48**
PA6-GF (5)	8,20	15,8	**0,48**
PA6-GF (6)	9,82	19,0	**0,49**

Bu bulgular, ağırlığın kritik olduğu uygulamalarda dahi PA6-GF kompozit yapısının, ABS'ye göre daha verimli bir enerji yutucu olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, FDM teknolojisi ile üretilen ABS ve Cam Elyaf Takviyeli Poliamid (PA6-GF) içi boş silindirlerin mekanik davranışları ve enerji sönümleme kapasiteleri, duvar kalınlığı parametresi üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

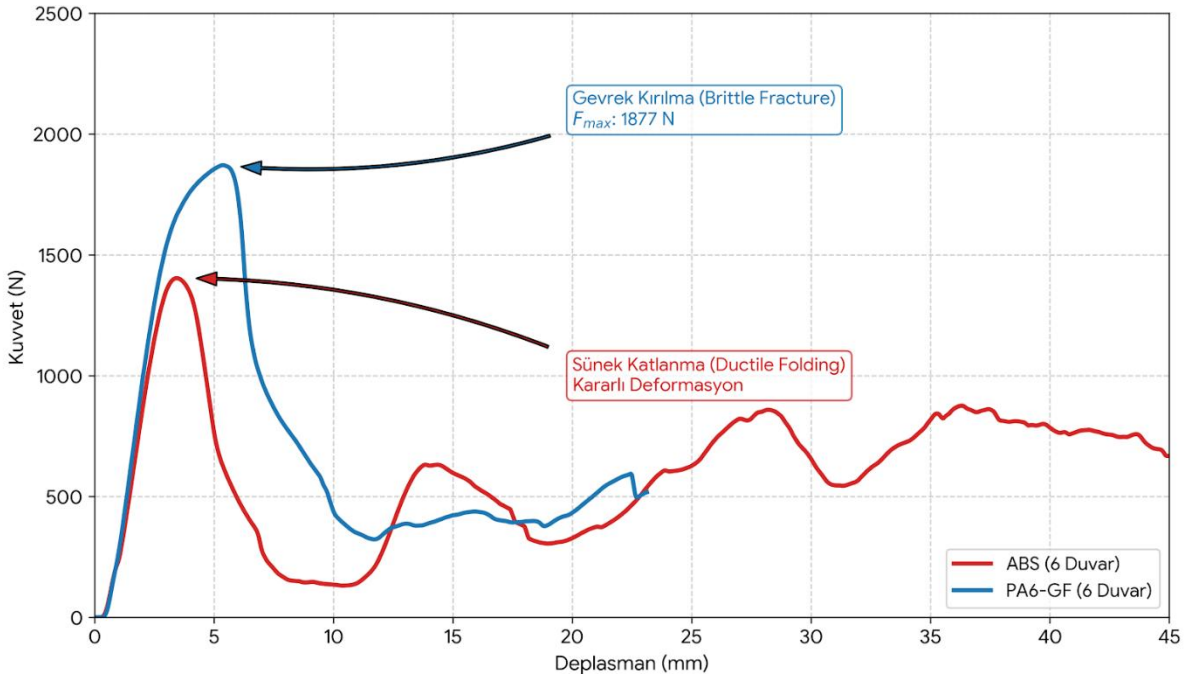
Duvar Kalınlığı Etkisi: Duvar katman sayısının artırılması, her iki malzeme grubunda da yük taşıma kapasitesini (F_{max}) doğrusal olarak artırmıştır. Ancak malzeme türü, bu artışın verimliliğini değiştiren temel faktör olmuştur.

Hasar Mekanizması Farklılığı: İki malzeme grubu, yük altında zıt deformasyon karakteristiği sergilemiştir. ABS numuneler, belirgin bir akma noktasından sonra sünek davranarak katlanma mekanizmasıyla deforme olmaya devam etmiş ve kopma yaşamamıştır. Buna karşın PA6-GF numuneler, yüksek rijitlik göstererek maksimum kuvvete ulaştıktan sonra gevrek bir şekilde kırılarak ani hasara uğramıştır.

Mukavemet Üstünlüğü: PA6-GF kompozit malzeme, özellikle 5 ve 6 duvar katmanlı yapılarda ABS malzemeye kıyasla %35'e varan oranda daha yüksek tepe kuvveti (1877 N) sergilemiştir. Bu durum, cam elyaf takviyesinin polimer matrisin rijitliğini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. PA6-GF numuneler, duvar sayısından bağımsız olarak her konfigürasyonda ABS numunelere göre çok daha yüksek basma dayanımı göstermiştir. 6 duvarlı numunelerde PA6-GF, ABS'ye kıyasla yaklaşık 2-2.5 kat daha fazla yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.

Enerji Sönümleme (*SEA*): Ağırlık/performans optimizasyonu açısından incelendiğinde; PA6-GF numunelerin hem toplam enerji (*EA*) hem de özgül enerji (*SEA*) bakımından ABS'den üstün olduğu tespit edilmiştir. PA6-GF'nin yüksek yoğunluğuna rağmen birim kütle başına sönümlediği enerjinin yüksek olması, hafifletme çalışmalarında bu malzemenin potansiyelini ortaya koymaktadır.

Grafik 5'te görüldüğü üzere yüksek mukavemet ve rijitlik gerektiren, deformasyonun sınırlı kalması istenen yapısal parçalarda PA6-GF kullanımı avantajlıdır. Ancak, çarpışma sönümleyici gibi kontrollü ve sürekli deformasyon gerektiren, öngörülebilirliğin esas olduğu uygulamalarda, gevrek kırılma riski taşımayan ABS veya toklaştırılmış polimerlerin tercih edilmesi, sistem güvenliği açısından daha uygundur.



Grafik 5. Duvar Sayısının 6 Olduğu Sahip ABS ve PA6-GF Numunelerin Karşılaştırılması

Yüksek yük taşıma kapasitesi ve yapısal bütünlüğün korunması gereken parçalarda PA6-GF kullanımı avantajlıyken; yüksek deformasyon kabiliyeti, enerji sönümleme süresi ve parçalanmadan katlanarak form değiştirme istenen kaza sönümleyici bölgelerde ABS veya benzeri sünek malzemelerin kullanımı daha uygundur.

KAYNAKÇA

1. Gibson, I., Rosen, D. ve Stucker, B., Additive Manufacturing Technologies, Springer, New York, 2015.

2. Mohamed, O.A., Masood, S.H. ve Bhowmik, J.L., Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects, Advances in Manufacturing, 3, 42-53, 2015.

3. Kamaal, M. ve diğerleri, Mechanical characterization of 3D printed PA6-GF composite parts, Materials Today: Proceedings, 44, 452-457, 2021.

4. Albak, E. İ., Crashworthiness Performance of Bamboo-Inspired 3D-Printed Tubes: Effects of Infill Pattern, Infill Ratio, Wall Thickness, and Inner Diameter, Biomimetics, 10(10), 702, 2025.

5. Deng, Y. ve diğerleri, Crashworthiness analysis of gradient cellular structures aimed at lightweight, International Journal of Mechanical Sciences, 157, 236-249, 2019.

OSTEOARTRİTTE KOAGÜLASYON VE EKSTRASELLÜLER MATRİKS YENİDEN ŞEKİLLENMESİ YOLAKLARINI ETKİLEYEN MOLEKÜLER DEĞİŞİKLİKLER: BİR PLAZMA PROTEOMİK ÇALIŞMASI

Duygu Sarı Ak[1]

[1] Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

duygu.sariak@sbu.edu.tr - 0000-0002-1577-7387

Fatih Çon[2]

[2] Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Tıbbi Biyokimya, İstanbul, Türkiye

con.fatih@gmail.com - 0009-0006-5966-5201

Alev Kural[2]

[2] Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Tıbbi Biyokimya, İstanbul, Türkiye

alevkural@hotmail.com - 0000-0003-1459-4316

Osteoartrit (OA), ilerleyici eklem kıkırdağı yıkımı, subkondral kemik yeniden şekillenmesi ve sinovyal inflamasyon ile karakterize, yaygın görülen ve sakatlayıcı bir eklem hastalığıdır. Bu süreçler kronik ağrı, tutukluk ve hareket kısıtlılığına yol açar. OA, yalnızca lokal eklem dejenerasyonu ile sınırlı olmayıp sistemik biyolojik değişiklikler de göstermektedir. Özellikle koagülasyon yolakları ve ekstrasellüler matriks (ECM) yeniden şekillenmesi, hastalık ilerleyişinde merkezi rol oynamaktadır. Artroplasti sonrası bu sistemik moleküler değişikliklerin nasıl etkilendiği ise yeterince aydınlatılamamıştır.

Cerrahi müdahaleye rağmen devam eden ve ameliyat sonrası iyileşme sürecinde dinamik olarak değişen OA ilişkili proteomik imzaları belirlemek ve özellikle koagülasyon/trombosit aktivasyonu ve ECM yeniden şekillenmesi odaklı değerlendirmek amaçlanmıştır.

Kalça veya diz artroplastisi planlanan sekiz OA hastasının ameliyat öncesi ve ameliyat sonrası 6. haftada alınan plazma örnekleri, yaş ve cinsiyet uyumlu on sağlıklı kontrol ile karşılaştırılmıştır. LC-MS/MS tabanlı proteomik analiz uygulanmış; farklı ifade düzeyine sahip proteinler $p<0.05$ ve $|\log_2 FC|>1$ kriterleriyle belirlenmiştir. Fonksiyonel ilişkilendirme için yolak zenginleştirme analizleri yapılmıştır.

Koagülasyon ve trombosit aktivasyonu ile ilişkili PROC, GP5, ORM2 ve B2M seviyelerinin cerrahi sonrası da yüksek seyretmesi, persistan tromboinflamatuvar aktiviteyi ortaya koymuştur. Buna karşılık COL6A1 ve C1QTNF6 gibi ECM yapısal düzenleyicilerinin baskılanmış kalması, matriks homeostazındaki bozulmanın sürdüğünü göstermiştir. Sınırlı

düzeyde bazı proteinlerde (örn. INTS6, CAPN11) normalizasyona eğilim izlenirken, SERPINC1 ve FGB gibi yeni hemostatik değişiklikler iyileşme fazına özgü yeniden dengelenmeye işaret etmiştir.

Bu plazma proteomik çalışması, artroplasti sonrasında dahi osteoartritin koagülasyon, trombosit aktivasyonu ve ECM yeniden şekillenmesi bozukluklarının hâkim olduğu persistan sistemik bir hastalık imzası taşıdığını göstermektedir. Cerrahi sonrası gelişen akut faz ve hemostaz düzenleyici yanıtlar iyileşmeye katkı sağlasa da altta yatan tromboinflamatuvar fenotip tam olarak düzelmemektedir. Bu bulgular, OA'nın yalnızca mekanik bir hastalık olmadığını; sistemik hastalık aktivitesinin ve postoperatif iyileşmenin izlenmesinde dolaşımdaki proteomik belirteçlerin önemli potansiyel taşıdığını vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Osteoartrit, proteomik, koagülasyon, trombosit aktivasyonu, ekstrasellüler matriks yeniden şekillenmesi

MOLECULAR ALTERATIONS AFFECTING COAGULATION AND EXTRACELLULAR MATRIX REMODELING PATHWAYS IN OSTEOARTHRITIS: A PLASMA PROTEOMICS STUDY

Duygu Sarı Ak[1]

[1] Department of Medical Biology, Hamidiye International School of Medicine, University of Health Sciences, Istanbul, Türkiye

duygu.sariak@sbu.edu.tr - 0000-0002-1577-7387

Fatih Çon[2]

[2] Clinic of Medical Biochemistry, Bakırkoy Dr. Sadi Konuk Training and Research Hospital, University of Health Sciences, Istanbul, Türkiye

con.fatih@gmail.com - 0009-0006-5966-5201

Alev Kural[2]

[2] Clinic of Medical Biochemistry, Bakırkoy Dr. Sadi Konuk Training and Research Hospital, University of Health Sciences, Istanbul, Türkiye

alevkural@hotmail.com - 0000-0003-1459-4316

Osteoarthritis (OA) is a highly prevalent and disabling joint disorder that is characterized by progressive articular cartilage degradation, subchondral bone remodeling, and synovial inflammation, collectively leading to chronic pain, stiffness, and impaired mobility. It involves systemic alterations extending beyond local joint degeneration. In particular, coagulation pathways and extracellular matrix (ECM) remodeling are increasingly recognized as central to disease progression. The systemic molecular consequences of arthroplasty remain incompletely defined.

This study was aimed at identifying osteoarthritis-related proteomic signatures that persist despite surgical intervention and dynamically change during postoperative recovery, with a specific focus on coagulation/platelet activation and ECM remodeling pathways.

Plasma samples from eight OA patients undergoing hip or knee arthroplasty were collected pre-operatively and six weeks post-operatively, alongside ten matched healthy controls. LC-MS/MS analysis was performed and differentially abundant proteins were defined using $p<0.05$ and $|\log_2 FC|>1$. Pathway enrichment analysis was applied to functionally map altered proteins.

Coagulation and platelet activation proteins—including PROC, GP5, ORM2, B2M—remained elevated post-operatively, reflecting sustained pro-thromboinflammatory activity. Conversely, structural ECM-linked proteins such as COL6A1 and C1QTNF6 remained suppressed, suggesting ongoing impairment in matrix maintenance. Limited normalization was observed in selected proteins (e.g., INTS6, CAPN11), while postoperative-emergent changes

included hemostasis regulatory shifts (e.g., SERPINC1, FGB), indicating a recovery-phase rebalancing rather than full resolution.

This plasma proteomics study demonstrates that osteoarthritis retains a persistent systemic molecular signature dominated by coagulation, platelet activation, and impaired extracellular matrix remodeling, even after arthroplasty. Although surgery triggers acute-phase and hemostatic adjustments consistent with early recovery processes, these changes do not fully resolve the underlying thromboinflammatory state. Overall, the findings highlight OA as a biologically active systemic disease rather than a purely mechanical disorder, and support the use of circulating proteomic markers for monitoring both residual disease activity and postoperative recovery.

Keywords: Osteoarthritis, proteomics, coagulation, platelet activation, extracellular matrix remodeling

KUERSETİNİN ESKAPE PATOJENLERİ ÜZERİNE ANTİMİKROBİYAL VE ANTİBİYOFİLM ETKİLERİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Abdülaziz İNANÇ
Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
cacais47@gmail.com- 0000-0003-0874-0014

Arş. Gör. Dr. Mustafa ÖKEER
Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Mikrobiyoloji AbD
mustafa.okeer@ege.edu.tr - 0000-0003-2869-7025

Arş. Gör. Dr. Ayşegül ATEŞ DEĞİRMENCİ
Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Mikrobiyoloji AbD
aysegul.ates@ege.edu.tr - 0000-0001-6891-6662

Prof. Dr. Hüseyin TAŞLI*
Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Mikrobiyoloji AbD
huseyin.tasli@ege.edu.tr - 0000-0003-0216-1740

ÖZET

Giriş: Antibiyotik direncinin 2050 yılına kadar yılda 10 milyon kişinin dirence bağlı olarak tedavi edilemeyen enfeksiyonlardan hayatını kaybedeceği ve bu durumun yaklaşık 100 milyar dolarlık sağlık harcamasını beraberinde getireceği öngörülmektedir. Birçok uluslararası kuruluş, çoklu ilaç direncine sahip bakterilerle mücadele için bitkisel bileşenlerin antimikrobiyal etkinliğinin incelenmesini önermektedir. Kuersetin, çeşitli farmakolojik etkilere sahip önemli bir bitki flavanoididir. *Ginkgo biloba* gibi tıbbi bitkilerin yanı sıra domates, turunçgiller, üzüm, çilek, kiraz, elma, ahududu gibi meyvelerde, soğan, lahana, brokoli gibi çeşitli sebzelerde ayrıca siyah çay, kakao ve kırmızı şarapta bol miktarda kuersetin bulunmaktadır.

Gereç ve Yöntem: Çalışmada ikişer adet *Enterococcus faecium, Staphylococcus aureus, Klebsiella pneumoniae, Acinetobacter baumannii, Pseduomonas aeruginosa* ve *Enterobacter spp.* (ESKAPE) kökeni ve ayrıca *E. coli* ATCC 25922, *S. aureus* ATCC 29213 ve *P. aeruginosa* 27853 kalite kontrol kökenleri kullanıldı. Kuersetinin bakteriler üzerindeki minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) değeri EUCAST kılavuzlarına uygun şekilde sıvı mikrodilüsyon yöntemiyle belirlendi. Ardından kuersetinin MİK/2 ve MİK/4 konsantrasyonlarında

bakterilerin biyofilm üretimine olan etkisi spektrofotometrik olarak kristal viyole yöntemiyle incelendi.

Bulgular: Kuersetin MİK değerleri 512-1024 µg/ml aralığında bulundu. Çalışılan MİK/2 ve MİK/4 konsantrasyonlarda, kuersetinin bakteriyel biyofilm oluşumunu düşük düzeyde inhibe edebileceği saptandı.

Sonuç ve Öneriler: Kuersetin, ESKAPE patojenlerinde biyofilm oluşumunu düşük düzeyde inhibe etmektedir. Bulgular, kuersetinin biyofilm ilişkili enfeksiyonlarda destekleyici veya alternatif bir antimikrobiyal ajan olarak potansiyelini göstermektedir. Etki mekanizmasının aydınlatılması ve kombinasyon tedavilerinin araştırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler : kuersetin, ESKAPE, biyofilm

A Chemometric Study on the Relationship Between Molecular Descriptors and Inhibitory Potency: Multivariate Analytical Profiling of Alzheimer's Disease Related Alkaloids

Dr. Ahmet Turan DEMİR

Department of Biomaterials and Tissue Engineering, Institute of Graduate Studies, Tokat Gaziosmanpaşa University,

phddemirahmet@gmail.com - 0000-0002-3464-0466

ABSTRACT

This study used multivariate chemometric analysis to explore how molecular properties relate to acetylcholinesterase (AChE) inhibitory activity. The research focused on eighteen natural and synthetic alkaloid compounds. Molecular Weight (MW), Lipophilicity (LogP), and Topological Polar Surface Area (TPSA) were figured out by models and checked against pIC_{50} values. The common idea that potency and lipophilicity are positively related was questioned. Linear regression showed almost no positive link between LogP and potency (r = 0.00), but a negative link between potency and TPSA (r = -0.30), suggesting polarity affects how well the compounds attach to the enzyme. Principal Components Analysis (PCA) explained 82.53% of the variance using PC1 and PC2. The most active inhibitors, donepezil and huperzine A, grouped separately on the PCA scores plot. These results show that multivariate chemometric analysis is more useful than univariate analysis in chemistry and drug development, providing a statistical model for computer-assisted screenings for neuroprotective drugs.

Keywords: Chemometrics, Principal Component Analysis, Molecular Descriptors, Acetylcholinesterase Inhibition, Alzheimer's Disease

1. INTRODUCTION

In Alzheimer's disease, the loss of cholinergic neurotransmission is a key characteristic, posing a large problem in neuropharmacology. According to Hampel et al. (1), inhibiting AChE is the best way to keep acetylcholine levels stable in synapses. Yet, Pajouhesh and Lenz suggest that drugs targeting the Central Nervous System (CNS) need specific molecular qualities to be helpful (2). Because of this, finding new inhibitory structures means closely studying their physicochemical properties. Modern analytical chemistry sees a molecule's biological activity as depending on its structure. Tropsha (3) mentions that MW), LogP, and TPSA affect how well the molecule is absorbed and how strongly it binds to enzymes. Also, Veber et al. (4) found that these properties help in guessing if a compound will reach where it needs to go in the body. Getting a full sense of how these features interact is hard using standard analysis methods that look at one factor at a time. So, chemometric methods, as Brereton explains (5), have risen as a helpful way to understand complex bioactivity information. With multivariate statistical methods like PCA, large data sets are easier to handle because they reduce the amount of information while still keeping the important differences. According to a study by Gasteiger and Engel, this method helps identify hidden structures in chemical space (6). In this study, a

chemometric model analyzes eighteen different alkaloids for Alzheimer. This offers a guide for finding highly effective neuroprotectants.

2. METHODS

2.1. Data Acquisition and Molecular Curation

The dataset includes eighteen alkaloids, each with IC_{50} values for inhibiting AChE. This set comprises approved drugs and biologically active compounds. The molecular structure data was obtained from PubChem using SMILES format (7). The empirical data of IC_{50}values was converted to pIC_{50} units, that is, $-\log(IC_{50})$, to linearly correlate it with binding free energy, as advised by Lazareno and Birdsall to promote multidimensional data analysis (8).

2.2. Calculation of Molecular Descriptors

The physicochemical variables were calculated using the cheminformatics toolkit RDKit. The variables chosen, based on Blood-Brain Barrier (BBB) penetration and enzyme binding affinity, are MW, LogP, and TPSA. The variables are consistent with the CNS lead space hypothesis proposed by Pajouhesh and Lenz, which concentrates on a chemically favorable area for drugs to target Alzheimer's (2).

2.3. Chemometric Analysis and Pattern Recognition

The multivariate statistical analysis was performed using Scikit-learn, a Python library (version 3.9) (9). The data matrices of descriptors were normalized by Z-score normalization before statistical analysis. The process consisted of two steps:

2.3.1. Correlation profiling

A Pearson correlation matrix for the analysis of the impact of separate descriptors on the inhibitory potency.

2.3.2. Dimensionality reduction

PCA to explore the underlying properties of the dataset to enable the creation of Score Plots to facilitate the clustering of alkaloids and Loading Plots to show the contributions to the observed variance.

3. RESULTS

Multivariate analysis of the eighteen alkaloids related to Alzheimer's disease enabled the identification of the structural features that impact AChE inhibition. Pearson correlation and PCA analysis were also useful in the interpretation of the large data space.

3.1. Pearson Correlation Analysis and Molecular Insights

The first linear regression was conducted between each descriptor and pIC_{50} individually. The values of correlation between MW, LogP, TPSA, and pIC_{50} are shown in Figure 1.

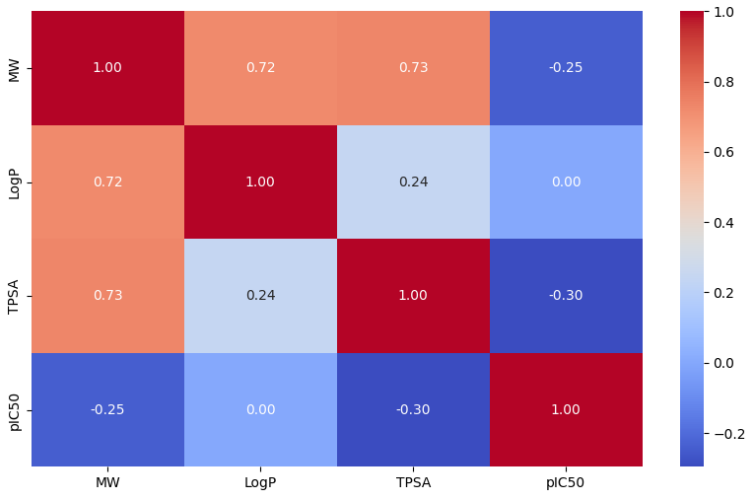


Figure 1. Correlation between molecular parameters and activity (pIC_{50})

The result showed that there was no correlation between LogP and pIC_{50} (r = 0.00), suggesting that, among these compounds, lipophilicity is not the primary force contributing to the binding affinity. Both LogP and size (MW) show very close to zero values, suggesting that, after crossing the BBB, electrostatic or steric factors, rather than non-specific hydrophobic interactions, primarily make contributions to the inhibition activity.

3.2. Linear Regression of Lipophilicity and Potency

The most striking finding of the study emerged from the regression analysis established between LogP and anticholinesterase activity (pIC_{50}) (Figure 2). Although the literatüre generally emphasizes the necessity of a certain hydrophobic character (LogP) for drugs to reach and bind to the target site, the situation is completely different in the 18-alkaloid dataset we examined.

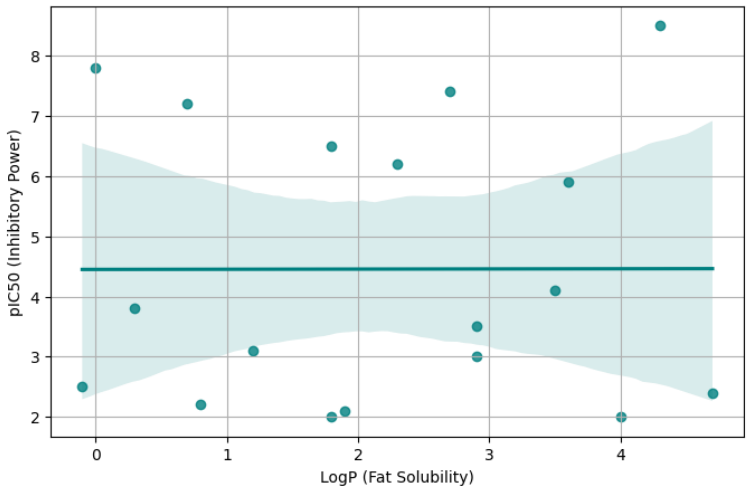


Figure 2. Relationship between lipophilicity and anticholinesterase activity

This graph provides visual proof of the "0.00" correlation shown in the first graph. The fact that the regression line is almost horizontal indicates that the effect of a molecule cannot be predicted by looking at the LogP value alone. The fact that the data points (molecules) are so scattered around the line suggests that this research requires a "non-linear" model. AChE inhibition is a multifactorial process, and simple linear approaches are insufficient to explain this complex interaction. This also proves that for Alzheimer's-related alkaloids, increasing hydrophobic character does not necessarily enhance binding affinity to the AChE enzyme.

3.3. Chemometric Grouping via PCA

PCA was employed to visualize the multidimensional chemical space. The model proved highly robust, with the first two principal components (PC1 and PC2) capturing 82.53% of the total variance (PC1: 56.12%, PC2: 26.41%).

PCA-based chemometric separation the score plot of PCA analysis (Figure 3) shows distinct chemometric separation based on biological activities:

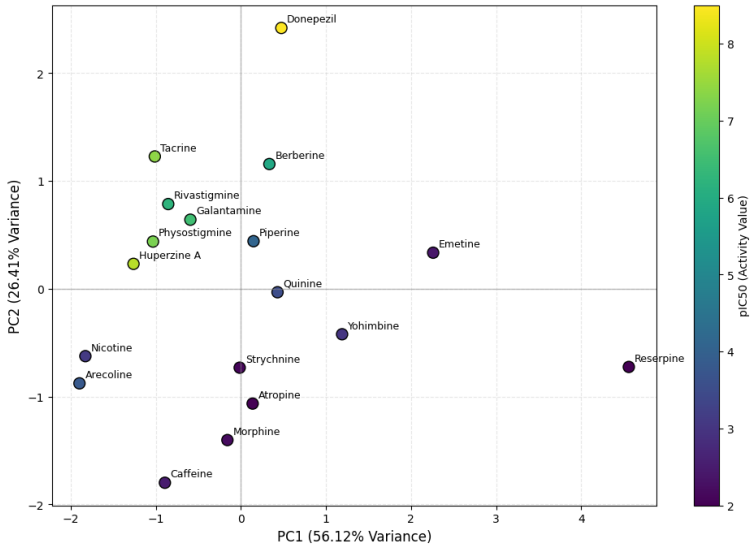


Figure 3. Chemometric grouping of compounds

High Potency Cluster (Yellow/Light Green): Inhibitors with pIC_{50} > 8, representative examples include clinically relevant inhibitors like Donepezil, Tacrine, Huperzine A, and Galantamine.

Low Potency Cluster (Dark Purple): Phytochemicals with lower potency (Caffeine, Nicotine, Morphine, and Arecoline) with pIC_{50} values ranging from 2-3, located at the bottom left corner and center of the plot, away from.

Outliers: Although Reserpine and Emetine fall in the positive range of PC1, which can be related to their high MW and TPSA values, this clearly demonstrates that more than just LogP values are to be taken into account in inhibiting AChE.

4. DISCUSSION and CONCLUSION

The eighteen alkaloids tested, chemometric analysis reveals AChE inhibition to be a complex process which cannot be captured adequately using a single physicochemical parameter. The "lipophilicity paradox" applies: there is no positive correlation between LogP and pIC_{50} (r = 0.00) in this data set, suggesting a lack of potency with high lipophilicity following BBB penetration. PCA explains 82.53% of total variance in the first two components, with the score plot distinguishing high-potency drugs effectively from natural alkaloids with lower potency. High-potency drugs such as Donepezil, Tacrine, and Galantamine are grouped together in the third quadrant, which may suggest a similar structural makeup amenable to AChE binding sites. The negative correlation between TPSA and pIC_{50} (r = −0.30) suggests that high polarity inhibits favorable AChE binding orientation, consistent with BBB penetration. High positive correlations were seen for MW and LogP (r = 0.72) and MW and TPSA (r = 0.73), which is to be expected for larger molecules with higher values for both parameters. The plot outlier Reserpine suggests steric hindrance in AChE enzyme sites for larger molecules, which loses potency ($pIC_{50} \approx 2.39$). Finally, multivariate chemical modeling is far more reliable for specific

Alzheimer's drugs than univariate chemical screening. In sharp contrast to expectations from pLogP analysis, pharmacodynamic data (pIC_{50}) for this particular data set on eighteen alkaloids is less reliably predictive and less robust on isolates. The derived PCA map provides a powerful computing model for searching for potent neuroprotective drugs and designing future drugs with a MW:TPSA ratio for efficient inhibitions akin to those of high-potency drugs.

5. REFERENCES

1. Hampel, H., Mesulam, M.M., Cuello, A.C., Farlow, M.R., Giacobini, E., Grossberg, G.T., Khachaturian, A.S., Vergallo, A., Cavedo, E., Snyder, P.J., Khachaturian, Z.S. The cholinergic system in the pathophysiology and treatment of Alzheimer's disease, Brain, 141(7):1917-1933, 2018. https://doi.org/10.1093/brain/awy132

2. Pajouhesh, H., Lenz, G.R. Medicinal chemical properties of successful central nervous system drugs, NeuroRx., 2(4):541-53, 2005. https://doi.org/10.1602/neurorx.2.4.541

3. Tropsha, A. Best Practices for QSAR Model Development, Validation, and Exploitation, Mol Inform., 29(6-7):476-88, 2010. https://doi.org/10.1002/minf.201000061

4. Veber, D.F., Johnson, S.R., Cheng, H.Y., Smith, B.R., Ward, K.W., Kopple, K.D. Molecular properties that influence the oral bioavailability of drug candidates, J Med Chem., 45(12):2615-23, 2002. https://doi.org/10.1021/jm020017n

5. Brereton, R.G., Chemometrics for Pattern Recognition, Centre for Chemometrics, School of Chemistry, Bristol University, Bristol, UK, 2009.

6. Gasteiger, J., Engel, T., Chemoinformatics: A Textbook, Wiley-VCH, 2003.

7. Kim, S., Chen, J., Cheng, T., Gindulyte, A., He, J., He, S., Li, Q., Shoemaker, B.A., Thiessen, P.A., Yu, B., Zaslavsky, L., Zhang, J., Bolton, E.E. PubChem 2023 update, Nucleic Acids Res., 51(D1):D1373-D1380, 2023. https://doi.org/10.1093/nar/gkac956

8. Lazareno, S., Birdsall, N.J. Estimation of competitive antagonist affinity from functional inhibition curves using the Gaddum, Schild and Cheng-Prusoff equations, Br J Pharmacol., 109(4):1110-1119, 1993. https://doi.org/10.1111/j.1476-5381.1993.tb13737.x

9. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., Duchesnay, É. Scikit-learn: Machine Learning in Python, Journal of Machine Learning Research, 12(85):2825-2830, 2011.

Multivariate Chemometric Data Analysis in Determining the Water Solubility Profile of Drug Candidates: Development and Performance Validation of an Analytical Model

Dr. Ahmet Turan DEMİR

Department of Biomaterials and Tissue Engineering, Institute of Graduate Studies, Tokat Gaziosmanpaşa University,

phddemirahmet@gmail.com - 0000-0002-3464-0466

ABSTRACT

Aqueous solubility and its measurement, expressed as log S, is a critical parameter in the early stages of drug discovery and development for predicting bioavailability and pharmacokinetic performance. Although precise results are provided by experimental methods described in the literature, such as the shake flask method and potentiometric titration, screening a large number of candidates is a time-consuming and expensive process. The first objective of this work is to optimize this tedious laboratory procedure by establishing a strong predictive capability using a robust chemometric tool that may estimate solubility simply using the molecular structure of a compound. Using a large number of samples, 1144 compounds, the solubility of which is influenced by some physicochemical parameters such as lipophilicity, molecular weight, aromaticity, and flexibility, the work employed Multiple Linear Regression analysis to establish the relationship between solubility and physicochemical parameters. The analysis showed a strong predictive capability of R^2=0.77 and RMSE=0.99 for predicting solubility for an unseen set of samples. Coefficient comparison results showed that lipophilicity is the dominant parameter responsible for low solubility. The results were validated by examining the relationship between actual and predicted solubility and by observing that the residues were normally and randomly distributed. The results of this work present a practical and logical method to reject candidates with low solubility before their actual synthesis in drug discovery and development.

Keywords: Chemometrics, Quantitative Structure-Property Relationship, Analytical Validation, Multivariate Data Analysis, Drug Solubility Prediction

1. INTRODUCTION

In present day research and development of pharmaceuticals, the physicochemical property of the compound is as important as its biological activity for the success of a drug. The aqueous solubility or the logS is the primary analytical property that determines the gastrointestinal absorption and systemic bioavailability of a drug (1). About 40% of freshly synthesized compounds face challenges associated with pharmacokinetics, specifically aqueous solubility (Class II and IV), based on the Biopharmaceutical Classification System (BCS). The precision of shake flask methods is very high but poses major challenges for high-throughput screening during the preliminary stages because it is very expensive and requires extensive hands-on activity (2).

Chemometrics, a field of analytical chemistry involving the use of data to predict solubility with a very high degree of accuracy using structural descriptors for molecules, received a theoretical premise for the development of a predictive model using the Rule of Five, particularly concerning the boundaries for molecular weight and lipophilicity or LogP (3). The ESOL (Estimated Solubility) method proposed by Delaney, the premise for the proposed work, allows for the estimation of solubility using structural variables without the need for quantum mechanical reasoning (4). The current state of existing literature puts more emphasis on improving the ability to validate existing models using tools from the field of artificial intelligence and data analytics (5). In the proposed work, the comparative importance of physicochemical variables for solubility has been explored quantitatively, and the ability of the proposed model to analyze data has been checked statistically.

2. METHODS

2.1. Data Preparation and Descriptor Selection

The Delaney (ESOL) data set, comprising 1144 compounds, was used as the training set to develop the model and has been largely referenced in literature (4). To improve the accuracy of analysis, lipophilicity (LogP), molecular weight (MolWt), aromatic proportion (Aromatic Proportion), and rotatable bonds (NumRotatableBonds) were chosen as independent variables to develop the mathematical model. These decision variables are a representation of the primary physicochemical relationship terms underlying solubility, as defined by the Rule of Five by Lipinski et al. (3).

2.2. Exploratory Data Analysis and Outlier Detection

Model reliability requires homogeneity in data. To reduce the effects of noise and misleading results, the Distribution Analysis of Biochemical Parameters (Box-Plot) approach was adopted to determine the outliers that might have damaging impacts on the results of the model calculations and the need for data scaling (2).

2.3. Multivariate Correlation Protocol

A heatmap correlation matrix was used to evaluate multicollinearity in variables. It was also utilized to determine the direct effects of variables on solubility. This approach measures correlations between independent variables to prevent overfitting in modeling.

2.4. Regression Modeling and Relative Impact Analysis

Based on the Multiple Linear Regression model, analyses on coefficients measured the contribution of each descriptor to solubility. To show which particular physicochemical characteristic, either lipophilicity or molar weight, has a major impact on solubility and to what extent, Relative Impact Strength analyses on variables were included in this study (6).

2.5. Performance Validation and Error Distribution Analysis

The reliability of the model was tested using a two-step validation method:

2.5.1. Correlation analysis

The Comparison of Actual and Predicted Values approach was employed in estimating the alignment between the predicted values and the experimental values.

2.5.2. Residual analysis

The pattern of prediction errors was analyzed to check for any systematic biases in the model. The random scattering of errors around zero should be closely monitored to determine the accuracy of the analysis technique used (5).

3. RESULTS

Results of the analysis carried out to determine the performance of the chemometric model designed and the parameters that influence the solubility profile of drug candidates are shown below:

3.1. Distribution of Biochemical Parameters and Outlier Control

Box-Plot analysis was used to determine distribution ranges and outliers in the variables to confirm that variance in MolWt and LogP was particularly in need of standardization (Figure 1).

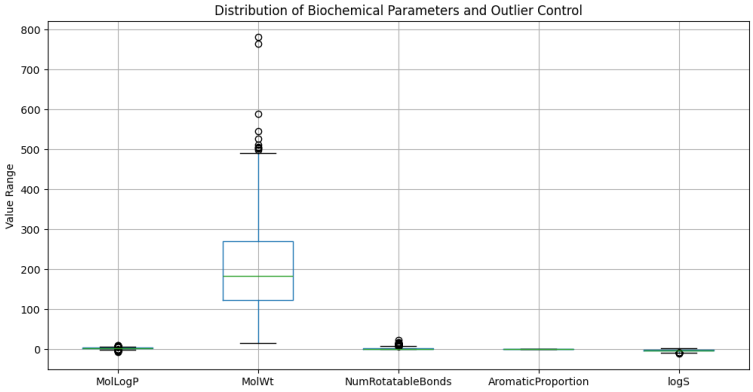


Figure 1. Distribution of biochemical parameters and outlier control

3.2. Heatmap (Correlation Matrix)

A strong negatively correlated relationship between LogP and logS clearly verifies the crucial effect of lipophilicity on solubility from the analytical point of view (Figure 2).

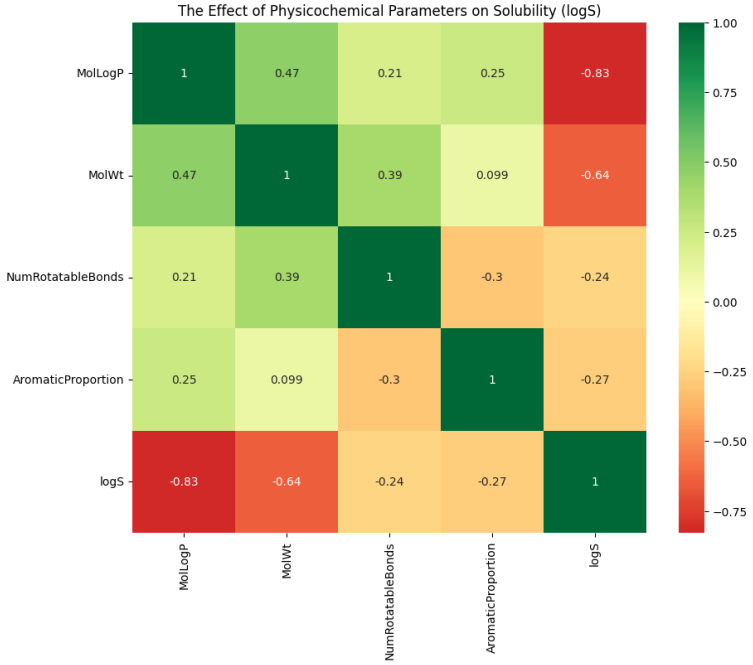


Figure 2. Effect of physicochemical parameters on solubility

3.3. Relative Impact Strength of Variables on Solubility (logS)

Coefficient analysis revealed that the LogP factor was considered much more in the model's decision-making process than the other factors (Figure 3).

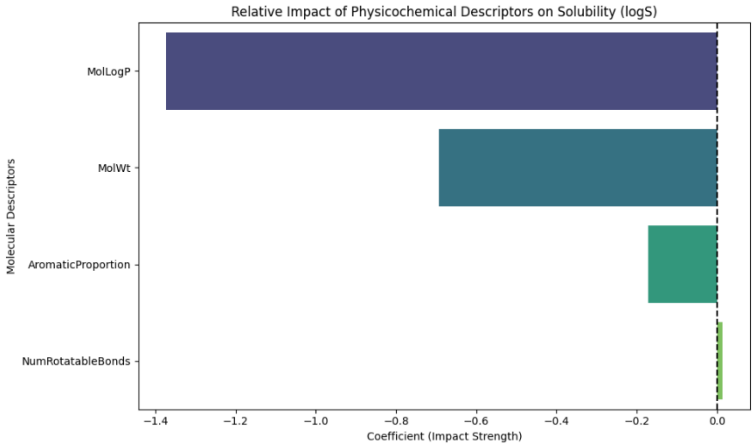


Figure 3. Relative impact of physicochemical descriptors on solubility

3.4. Actual and Predicted Drug Solubility Values

The data points are tightly packed around the regression line, suggesting high predictive validity and analytic validity with R^2=0.77 (Figure 4).

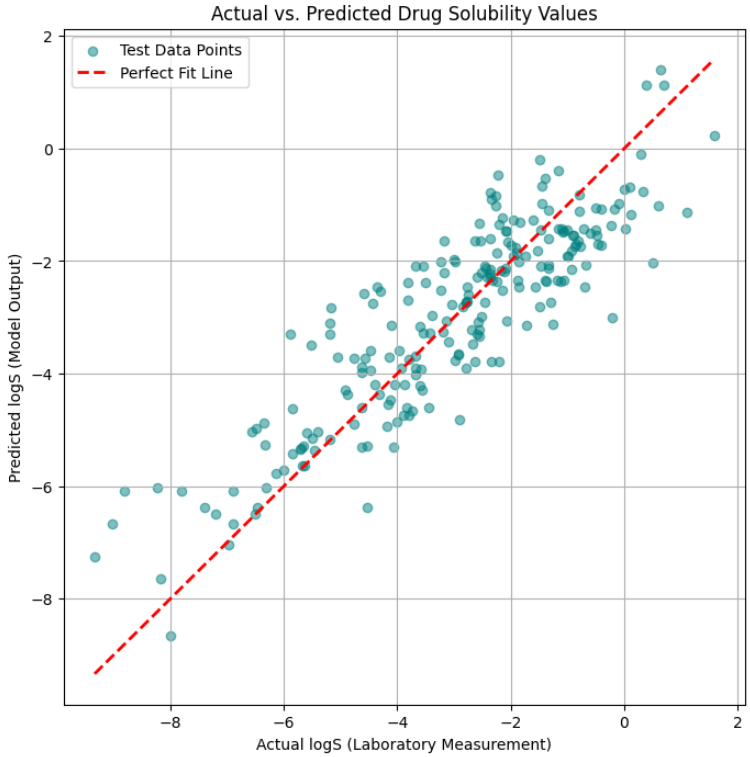


Figure 4. Actual vs. predicted drug solubility values

3.5. Distribution of Prediction Errors (Residuals)

The fact that the distribution of errors around zero is normal shows that there are no systematic errors in this model and that it has statistical validity (Figure 5).

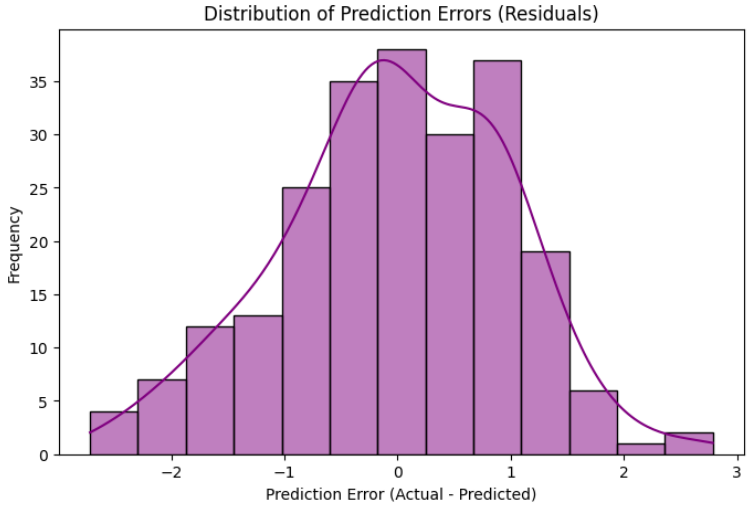


Figure 5. Distribution of prediction errors

4. DISCUSSION and CONCLUSION

This work applies aqueous solubility (log S), an important factor in the bioavailability of drugs, using chemometric tools on a large data set of 1144 compounds. Results have shown that the data correlations between descriptors and solubility can now be reliably predicted within an analytical setting. The results attained, including the values R^2=0.77 and RMSE=0.99, are in good agreement with the results of the established ESOL study by Delaney et al. on aqueous solubility. This confirms that Multiple Linear Regression analysis remains a sensible approach toward understanding the physico-chemical characteristics associated with the complex molecules of drugs. Coefficient and correlation analysis also verifies quantitatively the predominance and solubility-limiting role of lipophilicity (Log P) in accordance with the Rule of Five proposed by Lipinski (3) and the principles of hydrophobicity. The negative relation of solubility with molecular weight agrees with data from the literature. Additionally, the normal distribution of the residuals around zero confirms the absence of systemic bias and the generalizability of the results to diverse chemical series.

In conclusion, this work provides a protocol which is significantly more accurate and reduces reliance on experimental shake flask techniques, which are often costly and time-consuming. The protocol has applications as a decision-making aid during drug development, as it will help eliminate compounds that are poorly soluble too early to go to synthesis. Future research can improve accuracy by the inclusion of additional parameters, such as lattice energy for crystalline compounds and pKa, especially for ionizable compounds.

5. REFERENCES

1. Amidon, G.L., Lennernäs, H., Shah, V.P. et al. A Theoretical Basis for a Biopharmaceutic Drug Classification: The Correlation of in Vitro Drug Product Dissolution and in Vivo Bioavailability, Pharm Res., 12, 413-420, 1995. https://doi.org/10.1023/A:1016212804288

2. Bergström, C.A., Norinder, U., Luthman, K., Artursson, P. Experimental and computational screening models for prediction of aqueous drug solubility, Pharm Res., 19(2),182-188, 2002. https://doi.org/10.1023/a:1014224900524

3. Lipinski, C.A., Lombardo, F., Dominy, B.W., Feeney, P.J. Experimental and computational approaches to estimate solubility and permeability in drug discovery and development settings, Adv Drug Deliv Rev., 46(1-3),3-26, 2001. https://doi.org/10.1016/s0169-409x(00)00129-0

4. Delaney, J.S. ESOL: Estimating aqueous solubility directly from molecular structure, J Chem Inf Comput Sci., 44(3),1000-1005, 2004. https://doi.org/10.1021/ci034243x

5. Vamathevan, J., Clark, D., Czodrowski, P. et al. Applications of machine learning in drug discovery and development, Nat Rev Drug Discov 18, 463-477, 2019. https://doi.org/10.1038/s41573-019-0024-5

6. Veber, D.F., Johnson, S.R., Cheng, H.Y., Smith, B.R., Ward, K.W., Kopple, K.D. Molecular properties that influence the oral bioavailability of drug candidates, J Med Chem., 45(12),2615-2623, 2002. https://doi.org/10.1021/jm020017n

ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ VE TEK SAĞLIK YAKLAŞIMI

Dr. Öğr. Üyesi Elif ÇELİK
Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı
elif.celik@kafkas.edu.tr
ORCID: 0000-0003-4531-3863

Doç. Dr. Aliye GÜLMEZ SAĞLAM
Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı
aliye.saglam@kafkas.edu.tr
ORCID: 0000-0002-7639-5075

Araş. Gör. Dr. Seda GÖKDEMİR
Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı
sedaadurhan@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6040-6569

ÖZET

Antimikrobiyal direnç, mortalite, morbidite ve maliyet yükü nedeniyle insan sağlığı, hayvan sağlığı ve çevre üzerinde ciddi etkiler oluşturan kritik bir küresel sağlık sorunudur. Tarım, hayvancılık ve insan tıbbı gibi çeşitli sektörlerde antimikrobiyallerin yanlış ve aşırı kullanımı, yeni antibiyotiklerin az bulunması, uluslararası seyahatler, bakterilerin çoğalmasını ve aralarında yatay gen transferi mekanizmalarını artıran kötü hijyen koşulları veya vücut tarafından işlenmemiş antibiyotik metabolitlerinin çevreye salınması gibi birçok faktör nedeniyle mikroorganizmalar (bakteriler, virüsler, mantarlar ve parazitler vb.) antimikrobiyal ilaçlara duyarlılıklarını kaybederek dirençli hale gelebilmektedirler. Spesifik hayvan patojenlerinde, zoonotik patojenlerde veya kommensal bakterilerde direnç gelişimi söz konusu olabilmektedir. Bu direncin gelişimi ve yayılmasında antimikrobiyallerin yanlış yönetiminin dışında, enfeksiyonların yetersiz kontrolü, çevrede bulunan çeşitli kirleticiler, tarımsal atıklar veya dirençli bakterilerle enfekte olmuş insan ve hayvanların göçü gibi faktörler oldukça etkili olabilmektedir. Dolayısıyla ortaya çıkan bu direnç enfeksiyonların tedavisini giderek daha zor ya da imkânsız hâle getirmektedir. İnsan, hayvan, bitki ve ekosistem bir bütünün birbirine bağlı parçalarını oluşturmaktadır. Bu bütünün korunmasında da geniş bir çerçevede planlanmış çözümler sunan bir yaklaşıma ihtiyaç vardır ki işte bu noktada insanlar, hayvanlar, bitkiler ve kullandıkları ortak çevre arasındaki ilişkileri dikkate alarak optimal sağlık ve refah sağlayabilmek amacıyla yerel, bölgesel ve küresel düzeyde işbirliği yapan, çok sektörlü ve disiplinler arası bütünleyici bir yaklaşım olan ‘Tek Sağlık’ ciddi bir öneme sahiptir. Tek Sağlık yaklaşımı ile, ilgili disiplinlerin bilgi toplaması ve toplanan bilgilerin paylaşılması, planlanan faaliyetlerin gerçekleştirilmesi ve kurumsal bir kimlikle sürdürülmesi, sektörler arasında sağlıkla ile ilgili uyarı ve tehditlere yönelik sürecin başarı ile yürütülmesini sağlayacak protokoller ve bütüncül çözümlerin elde edilebileceği kurumsal karar süreçlerinin sağlanması son derece önemlidir. Bu sayede insanların, hayvanların ve ekosistemlerin sağlığını sürdürülebilir bir uyum içinde en iyi hale getirilebilir.

Anahtar kelimeler: Antimikrobiyal direnç, insan , hayvan, Tek Sağlık

ABSTRACT

Antimicrobial resistance is a critical global health problem with significant impacts on human health, animal health, and the environment due to mortality, morbidity, and cost burden. Microorganisms (bacteria, viruses, fungi, and parasites, etc.) can become resistant to antimicrobial drugs due to several factors, including the misuse and overuse of antimicrobials in various sectors such as agriculture, animal husbandry, and human medicine; the scarcity of new antibiotics; international travel; poor hygiene conditions that increase bacterial proliferation and horizontal gene transfer mechanisms; or the release of unprocessed antibiotic metabolites into the environment. Resistance development can occur in specific animal pathogens, zoonotic pathogens, or commensal bacteria. Besides the mismanagement of antimicrobials, factors such as inadequate infection control, various environmental pollutants, agricultural waste, or the migration of people and animals infected with resistant bacteria can be quite effective in the development and spread of this resistance. Therefore, this emerging resistance makes the treatment of infections increasingly difficult or impossible. Humans, animals, plants, and ecosystems form interconnected parts of a whole. Protecting this whole requires a comprehensive approach that offers planned solutions. This is where the 'One Health' approach, a multi-sectoral and interdisciplinary integrative approach that considers the relationships between humans, animals, plants, and their shared environment to ensure optimal health and well-being at local, regional, and global levels, becomes crucial. With the One Health approach, it is extremely important that relevant disciplines gather and share information, that planned activities are carried out and maintained with an institutional identity, and that institutional decision-making processes are established to ensure the successful implementation of protocols and holistic solutions for health-related warnings and threats across sectors. In this way, the health of humans, animals, and ecosystems can be optimized in a sustainable and harmonious way.

Keywords: Antimicrobial resistance, human, animal, One Health

1. GİRİŞ

1928'de antibiyotiklerin keşfi modern tıpta köklü değişikliklere dene olmuş ve bu ilaçlar 'mucize ilaçlar' olarak kabul edilmiştir (Caneschi ve ark., 2023). Hatta 20. Yüzyılın ortaları "antibiyotik çağı" olarak adlandırılmış ve bulaşıcı hastalıkların geçtiğimiz yüzyılın sonuna kadar ortadan kaldırılacağı düşünülmüştür (Çayar ve Ocaktan, 2020).
Bakteriyel hastalıklarla mücadelede kullanılmalarının yanı sıra, antibiyotikler büyük ameliyatlar, organ nakilleri veya kanser kemoterapisi gibi olağanüstü tıbbi gelişmelerde de infeksiyonların önlenmesine yönelik güçlü olanaklar sağlamıştır (Shaw-Taylor, 2020). Antibiyotikler hayvanların sağlık ve refahında da önemli iyileştirici etkiler göstermiştir (Economou ve Gousia, 2015). Ancak Sir Alexander Fleming'in Nobel Ödülü konuşmasında uyardığı gibi, 'antimikrobiyallerin kullanımı direnç oluşumuna yol açabilir ve açacaktır'. Bakteriler, çevre koşulları artık avantajlı olmadığında - örneğin antibiyotik varlığında - kendilerini değiştirebilen basit ve dayanıklı mikroorganizmalardır. Bu nedenle, antimikrobiyal direnç, herhangi bir antibiyotiğin katkıda bulunduğu doğal bir olgu olarak kabul edilmelidir. AMR tehdidi esas olarak antibiyotiklerin gereksiz veya reçetesiz olarak aşırı ve yanlış kullanımından kaynaklandığı bilinmelidir (Caneschi ve ark., 2023).

Hayvanlarda antibiyotik direncinin prevalansı insanlardaki kadar iyi nicelendirilmemiş olsa da, evcil hayvanların, çiftlik hayvanlarının ve hatta yaban hayatının çok ilaca dirençli suşlar için birer rezervuar olduğu bilinmektedir (Gwenzi ve ark., 2021). Çiftlik hayvanlarında antimikrobiyallere karşı gelişen direnç, hayvan sağlığını ciddi şekilde etkilemekte ve insanlarda dirençli bakterilerin neden olduğu enfeksiyonlara yol açabilmektedir. Ayrıca, bu dirençli mikroorganizmaların gıda zinciri yoluyla veya doğrudan temas sonucu insanlara bulaşabilmesi nedeniyle antimikrobiyal tedavilerin etkinliğini azaltmaktadır (Ma ve ark., 2021).

Küresel ölçekte, antimikrobiyal direnç tehdidi ve maliyetleri yaygın olarak kabul edilmektedir. Örneğin, antibiyotiğe dirençli patojenler Avrupa'da yılda yaklaşık 33.000, dünya genelinde ise toplam 4,95 milyon ölüme neden olmakta ve her yıl 1,5 milyar Euro'luk sağlık harcaması ve verimlilik kaybına yol açmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), antimikrobiyal direnci 'insanlığın karşı karşıya olduğu on küresel halk sağlığı tehdidinden biri' olarak değerlendirmektedir; zira 2050 yılına kadar antimikrobiyal direncin yılda 10 milyondan fazla ölüme neden olacağı ve dünya genelinde 100 trilyon dolardan fazla ekonomik kayba yol açacağı da öngörülmektedir (Caneschi ve ark., 2023).

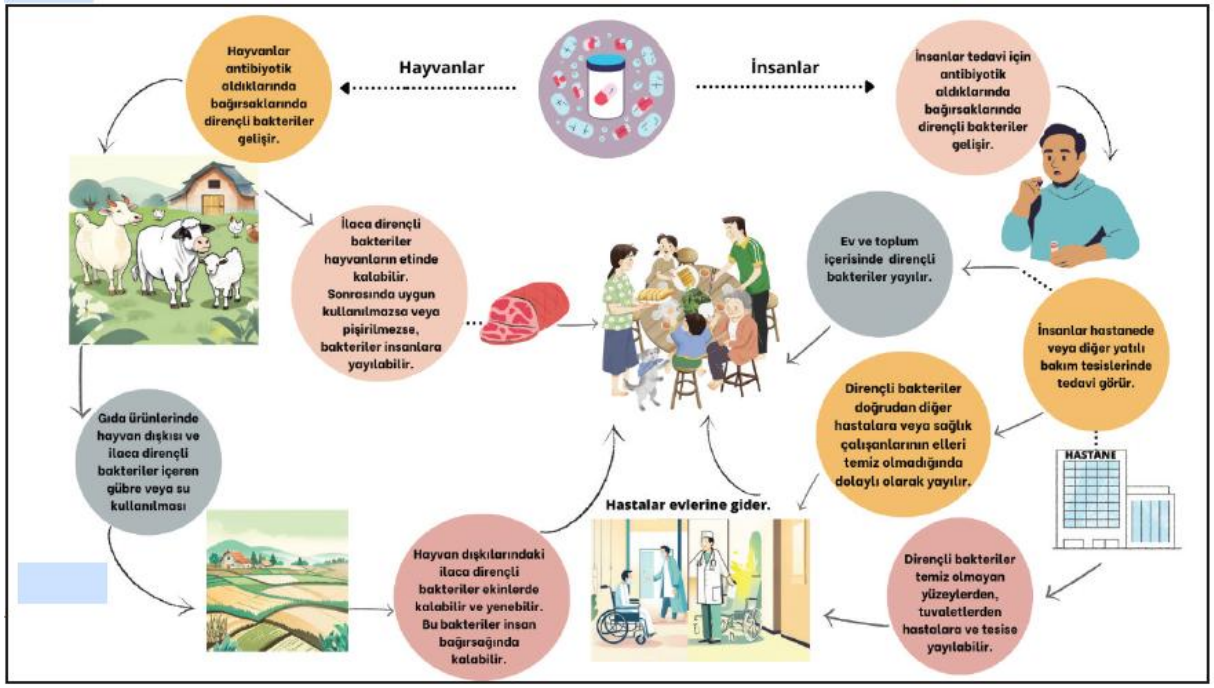
Bu derlemede veteriner hekimlik ve insan hekimliğinde antimikrobiyal direncin ortaya çıkışı, bu dirence neden olan içsel ve çevresel faktörler, önemi ve bunun önlenmesine yönelik bütüncül bir yaklaşım olan 'Tek Sağlık' yaklaşımın önemini vurgulamak amaçlanmıştır.

2. ANTİMİKROBİYAL DİRENCE NEDEN OLAN FAKTÖRLER

Antimikrobiyal ilaçların insanlarda, hayvanlarda ve bitkilerde yanlış ve aşırı kullanımı antimikrobiyal dirençli mikroorganizmaların insanlar arasında, hayvanlar arasında veya çapraz bulaşma yoluyla insanlar, hayvanlar ve çevre arasında yayılmasında ana etkenlerdir (Şekil 1) (Çayar ve Ocaktan 2025).

Antimikrobiyal direnç gelişiminde mikroorganizmaların doğal özellikleri ile sağlık çalışanları ve genel halkı kapsayan birçok çevresel unsurun etkisi sözkonusur. Çevresel

faktörler içerisinde nüfus yoğunluğu ve aşırı kalabalık, kitlesel seyahatlerin hızlandırdığı hızlı bulaşma, kötü sanitasyon koşulları, etkisiz enfeksiyon kontrol önlemleri ve hayvancılıkta yaygın antimikrobiyal kullanımı gibi unsurları yer alır. Sahte veya kalitesiz ilaçların piyasada bulunması ve antimikrobiyal ilaçların reçetesiz olarak kolayca temin edilebilmesi gibi sorunlar ilaçla ilgili faktörleri kapsar. Hasta ile ilgili faktörler, reçeteye uyumsuzluk, yoksulluk ve eğitim eksikliği gibi sosyoekonomik zorluklar, kendi kendine ilaç kullanma alışkanlıkları ve antibiyotik kullanımı hakkında yanlış inanışları içerir. Hekimle ilgili faktörler ise uygunsuz reçete yazımı, ilaçların yanlış dozda verilmesi ve sağlık çalışanları arasındaki bilgi veya eğitim eksikliklerini kapsar (Abushaheen ve ark., 2020). Bu unsurlar birbiriyle bağlantılı olup antibiyotiklerin yanlış kullanımı; uygunsuz reçete uygulamaları; yeni nesil antibiyotiklerin azlığı; hayvancılıkta antibiyotik kullanımı; hareketlilik (seyahat ve göç), ve bilgi eksikliği olmak üzere 6 temel başlık altında toplanmaktadır (Smit ve ark., 2023).



Şekil 1. Antibiyotik Direncinin Gelişimi ve Yayılması (CDC, 2024; Çayar ve Ocaktan, 2025)

2.1. Antibiyotiklerin yanlış kullanımı

İnsanlarda ve hayvanlarda antibiyotiklerin aşırı ve yanlış kullanımı, antibiyotik direncinin gelişimini hızlandırmıştır (Chaw ve ark., 2018). Yapılan çalışmalar, dünya genelinde özellikle formal eğitim almamış birçok kişinin antibiyotikler hakkında yanlış inanışlara sahip olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin, bazı kişiler antibiyotiklerin soğuk algınlığı veya grip gibi viral hastalıkları tedavi edebileceğine inanmaktadır. Ayrıca, antibiyotikler hasta bakımı için oldukça sık reçete edilmekte özellikle tanı kaynaklarının sınırlı olduğu birçok gelişmekte olan ülkede yaygındır (Chokshi ve ark., 2019). Antibiyotiklerin sıklıkla yanlış kullanılması antibiyotiklerin hem insanlar hem de hayvanlar için reçetesiz, tezgâh üstü ilaç olarak temin edilebildiği durumlarda daha da artmaktadır. Açık antibiyotik politikalarının ve tedavi kılavuzlarının olmaması, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak görülen bir sorun

olarak bu duruma katkı sağlamaktadır. Ayrıca, birçok az gelişmiş bölgede sağlık çalışanları, eczacılar ve veterinerler antibiyotikleri fazla reçete etme eğilimindedir. Bazı durumlarda, tedarik zincirindeki düşük kaliteli antibiyotikler, antibiyotik direnci sorununu daha da kötüleştirmektedir (Ferraz, 2024).

2.2. Uygun olmayan reçete uygulamaları

Yanlış reçete edilen antibiyotikler, antimikrobiyal direncin (AMR) gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır (Singh ve ark., 2024). Bu durum, antibiyotiklerin gereksiz yere reçete edilmesi, yanlış tip antibiyotiğin seçilmesi veya doz ve kullanım süresinin hatalı olması durumlarını ifade eder. Araştırmalar, hastanede yatan hastaların yaklaşık yarısının yatışları sırasında en az bir gereksiz antibiyotik aldığını göstermektedir. Antibiyotiklerin ideal olarak bakteri izolasyonu ve duyarlılık testlerine dayalı olarak reçete edilmesi gerekir. Durum, bakım evlerinde daha da endişe vericidir; burada antibiyotik reçetelerinin %25–75'i doz ve süre açısından yanlış veya uygunsuzdur. Ayrıca, doktorlar bazen gereksiz uzun antibiyotik kürleri yazmakta veya uygunsuz dozlar vermekte; bu durum, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, ya ilaç şirketlerinden kaynaklanan mali teşvikler nedeniyle ya da hasta beklentilerini karşılamak amacıyla gerçekleşmektedir (Laur ve ark., 2021).

2.3. Yeni nesil antibiyotiklerin azlığı

Antibiyotik direnci sorunu, ilaç şirketlerinin yeni ve yenilikçi antibiyotikler geliştirmesi için acil eylem gerektirmektedir (DiMasi ve ark., 2016). Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) tekrar tekrar yaptığı çağrılara rağmen, bu alanda kayda değer bir ilerleme kaydedilememiştir. Endişe verici bir şekilde, son geliştirilen 51 antibiyotiğin yalnızca 8'i dirençli bakterilerin neden olduğu enfeksiyonları tedavi etmede gerçekten yenilikçidir; geri kalanlar ise mevcut ilaçların temelde modifikasyonlarıdır. Sonuç olarak, bu yeni ilaçların da yakında direnç nedeniyle etkisiz hale gelebileceği konusunda kaygılar vardır. Yeni antibiyotiklerin azlığı, özellikle yaşlılar gibi savunmasız grupları etkileyen tüberküloz, idrar yolu enfeksiyonları, pnömoni ve bazı Gram-negatif enfeksiyonlar gibi ilaç dirençli durumların yönetimini ciddi şekilde zayıflatmıştır. Düzenleyici engeller ve finansal riskler, ilaç şirketleri tarafından yeni antibiyotik üretiminde büyük engeller olarak gösterilmekte ve birçok şirketin araştırma ve yenilik yatırımlarını azaltmasına yol açmaktadır. Bazı ilaç şirketleri ise antibiyotik üretimini tamamen durdurmuştur. Kârlılığa odaklanan bu şirketler, odaklarını enfeksiyonel hastalıklardan ziyade kronik hastalıklar için ilaç üretimine kaydırmıştır (Chang ve ark., 2015).

2.4. Hayvancılıkta antibiyotik kullanımı

Hayvancılıkta antibiyotik kullanımının nedenleri arasında verimliliğin artırılması, hayvan hastalıklarının tedavisi, hastalık salgınlarının önlenmesi ve büyük yoğun çiftliklerde tüm sürüdeki hastalıkların tedavisi yer almaktadır. Avrupa'da domuz ve kümes hayvanları gibi yoğun olarak yetiştirilen türlerde, sığır ve koyun gibi yaygın olarak yetiştirilen türlere göre daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar; bu da mikroorganizma seçilim baskısının artmasına yol açmaktadır (Qian ve ark. 2022).

Hayvan yetiştiriciliğinde antibiyotik kullanımı, özellikle hayvansal protein talebinin artmasıyla birçok gelişmekte olan ülkede önemli ölçüde artmıştır. Ancak bu uygulama, et, süt, yumurta gibi hayvansal ürünlerde ve atık ürünlerde antibiyotik kalıntılarının bulunması nedeniyle AMD'yi daha da kötüleştirmektedir. Antibiyotikler, hayvan hastalıklarını tedavi etmek, büyümeyi teşvik etmek, yem dönüşüm verimliliğini artırmak ve hastalıkları önlemek gibi çeşitli amaçlarla gelişigüzel uygulanmaktadır. Bu eğilim, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, gıda hayvanı çiftliklerinden kâr elde etme isteği ve hükümet düzenlemelerinin eksikliği nedeniyle daha belirgindir. Ayrıca, veteriner uygulamalarında kullanılan antibiyotikler, insanlarda reçete edilenlerle sıklıkla çakışmakta ve hayvan ile insan antibiyotik kullanımı arasında endişe verici bir bağlantı yaratmaktadır (Ferraz 2024).

2.5. Seyehat ve göç

İnsan hareketliliği, antibiyotik dirençli bakterilerin artışı ve yaygın şekilde dağılımında önemli bir rol oynamakta ve antimikrobiyal direncin küresel ölçekteki görünümünü şekillendirmektedir. Modern ulaşım yollarının insanlar kadar hayvanlar ve mallar tarafından da kolayca erişilebilir olması, AMR'nin yayılmasını önemli ölçüde etkilemektedir. İnsanlar turizm, iş, göç ve sağlık hizmetleri gibi çeşitli nedenlerle seyahat ederken, dirençli suşlar da dahil olmak üzere bakterileri istemeden farklı bölgelere ve topluluklara taşırlar (Smit ve ark. 2023).

Bu hareket, dirençli bakterilerin yerel sınırların ötesine yayılmasını kolaylaştırarak antimikrobiyal direncin küreselleşmesine katkıda bulunur. Uluslararası hava yolculuğu, toplu taşıma ve turizm merkezleri gibi seyahatle ilişkili faktörler, bakterilerin bireyler ve yüzeyler arasında kolayca geçiş yapabileceği yüksek yoğunluklu ortamlar yaratır. Ayrıca, farklı antibiyotik reçetelendirme uygulamalarına sahip ülkelerde sağlık hizmeti almak için yapılan tıbbi turizm, dirençli bakterilerin yeni ortamlara taşınmasına yol açabilir. Göç ve çatışmalar, doğal afetler veya ekonomik nedenlerle yer değiştirme, bakteri popülasyonlarının karışmasına ve dirençli suşların farklı popülasyonlar arasında iletimine neden olabilir. Yeni ortamlara giren antibiyotik dirençli bakteriler, rezervuarlar oluşturabilir ve insan-insan teması, kontamine gıda ve su, sağlık tesisleri ve çevresel kaynaklar dahil çeşitli yollarla yayılabilir. Yetersiz hijyen, kötü enfeksiyon kontrol uygulamaları ve antibiyotiklerin aşırı veya yanlış kullanımı sorunu daha da kötüleştirerek dirençli bakterilerin seçilmesi ve yayılması için ideal koşullar yaratır (Arcilla ve ark. 2017). Seyahat edenler, evlerine döndüklerinde, ziyaret ettikleri bölgelerden kazandıkları antimikrobiyal dirençli organizmaları genellikle farkında olmadan taşırlar. Araştırmalar, bu dirençli bakterilerin, yüksek AMR seviyelerine sahip bölgelere seyahat ettikten sonra vücutta 12 aya kadar kalabileceğini ve böylece savunmasız popülasyonlar arasında bulaş riskini artırabileceğini göstermektedir (McCubbin ve ark. 2019).

2.6. Yetersiz bilgi

Dünya genelinde antibiyotik kullanımı ve antibiyotik direnci durumu hakkında kapsamlı verilerin olmayışı etkili önlemler almayı zorlaştırmaktadır. Gözetim verileri kritik öneme sahiptir çünkü çabalarımızı nereye odaklamamız gerektiğini belirlememize yardımcı olur. Bu sorunu çözmek ve etkili müdahaleler uygulamak için, uluslararası ajanslar, tıp ve

veterinerlik profesyonelleri, tarım sektörleri ve tüketiciler gibi çeşitli paydaşlar arasında iş birliğine ihtiyaç vardır. Ancak öncelikle, antibiyotik kullanımı ve direnci konusundaki bilgi boşluklarının doldurulması (Ferraz 2024).

3. BAKTERİLERDE ANTİBİYOTİK DİRENÇ MEKANİZMALARI

Antimikrobiyal üreten organizmalarla aynı ekolojik nişi paylaşan bakteriler, zararlı antibiyotik molekülünün etkisine dayanmak için çeşitli mekanizmalar geliştirmişlerdir ve sonuç olarak, içsel dirençleri, antimikrobiyal varlığında gelişmelerine olanak tanır (Munita ve Arias 2016). Bakterilerin kendilerini antibiyotiklerden korumak için sergilediği birçok mekanizma vardır. İlaç direnci mekanizmaları, aktif dışa atım pompaları, ilaç inaktivasyonu/değişimi, ilaç bağlanma bölgelerinin/hedeflerinin modifikasyonu, hücre geçirgenliğindeki değişiklikler sonucu hücre içi ilaç birikiminin azalması, biyofilm oluşumu ve diğerleri dahil olmak üzere çeşitli kategorilere ayrılmaktadır (Ali ve ark. 2018).

3.1. Eflüks pompaları

Eflüks pompaları, toksik maddelerin hücre içinden dış ortama taşınmasında rol oynayan taşıyıcı proteinlerdir. Bakterilerdeki eflüks pompaları, ilaç direncine önemli katkıda bulunurlar; geniş bir antibiyotik yelpazesini organizmanın dışına atarlar (Giedraitienė ve ark. 2011). Bu nedenle, bu patojenlerin neden olduğu enfeksiyonların tedavisi zor olabilmektedir (McKeegan ve ark. 2003). Bazı eflüks pompaları tek bir ilaca özgü iken, diğerleri birden fazla substratı taşıyabilir. Eflüks pompalarının genleri içsel veya edinilmiş olabilir. Direncin içsel dışa atım mekanizması kromozomal olarak kodlanmış olup çevresel sinyaller veya düzenleyici genlerdeki mutasyonlar tarafından aktive edilir (Lomovskaya ve Watkins 2001).

3.2. Antibiyotiğin inaktivasyonu

Bakteriler, antimikrobiyalleri etkisiz hale getirmek için antibiyotiklerin enzimatik hidrolizi, grup transferi ve redoks süreci gibi çeşitli mekanizmalar kullanır. Penisilinlerin β-laktam halkasını hidrolize eden β-laktamazların üretimi, antibiyotik inaktivasyonunun klasik bir örneğidir. Enzimler genellikle bakteriler tarafından salgılanarak, antibiyotiklerin bakteri içindeki hedeflerine ulaşmadan önce etkisiz hale getirilmesini sağlar. Antibiyotik inaktivasyonunun ikinci mekanizması, asil, ribozil, fosforil veya tiyol grubu gibi fonksiyonel bir grubun transferi yoluyla ilacın enzim aracılı yapısal değişikliğini içerir. Modifiye edilmiş antibiyotik, yapısında meydana gelen değişiklik nedeniyle hedefe bağlanamaz ve reaksiyon geri döndürülemez bir forma dönüşür. Antibiyotik inaktivasyonunun üçüncü mekanizması ise redoks reaksiyonudur (Yalew 2020).

3.3. Hedef molekülün modifikasyonu

Antibiyotik hedef bölgesinin modifikasyonu, antibiyotiğin düzgün bir şekilde bağlanmasını engeller. Mikroorganizmalar, hedef bölgelerin hayati hücresel işlevleri nedeniyle, antimikrobiyal etkiden tamamen vazgeçerek kaçınamazlar. Bu mekanizmada, bakteriler antimikrobiyal ajanların hedeflerini değiştirmenin yollarını bulmuşlardır. İlaç hedef

modifikasyonunun klasik örneği, β-laktam antibiyotiklerin hedefi olan Penisilin Bağlayıcı Proteini (PBP) çeşitli şekillerde değiştiren stafilokok mekanizmasıdır (Davies ve Davies 2010).

3.4. Antimikrobiyal ajanların girişinin azaltılması

Çoğu antimikrobiyal bileşik, hedef bölgelerine ulaşmak için her zaman bakteri hücresine erişim gerektirir. Porin kanalları, antibiyotiklerin normalde bakteri dış zarını geçtiği geçitlerdir. Bazı bakteriler, bu antimikrobiyal bileşiklerin hücre duvarlarına girmesini engelleyerek kendilerini korurlar (Poole 2002; Yalew 2020).

3.5. Mutasyon

Prokaryotik genomlarda mutasyonlar sıklıkla dış etkenlerden kaynaklanan baz değişiklikleri, DNA polimeraz hataları, delesyonlar, insersiyonlar ve duplikasyonlar nedeniyle meydana gelir (Yalew 2020).

3.6. Biyofilm Oluşumu

Bakteri ve mantar içeren karmaşık mikrobiyal topluluklara biyofilm denir. Mikroorganizmalar, biyofilmi canlı veya cansız bir yüzeye sıkıca bağlayan koruyucu bir matris sentezler ve salgılar. Bir biyofilm, şeker ve proteinlerden oluşan kalın, sümüksü bir bariyerin içine gömülü bakteriler olarak tanımlanabilir. Biyofilm bariyeri, mikroorganizmaları dış tehditlerden korur. Biyofilmlerdeki yüksek hücre yoğunluğu, antimikrobiyal baskı altında seçilebilen dirençli mutantların mutlak sayısını artırır (Soto 2013)

4. İNSANLARDA VE HAYVANLARDA ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ

Antibiyotik direnci, insan sağlığını hem enfeksiyonların tedavisi hem de klinik girişim ve uygulamalar kapsamında profilaksi yoluyla enfeksiyonların önlenmesi açısından etkilemektedir. Antibiyotik direncinin insan sağlığı üzerindeki etkisi iki yönlüdür. Birincisi, tedaviye doğrudan etkileri olup; bunlar tedavi başarısızlığı ve komplikasyonlar şeklinde ortaya çıkar. İkincisi ise önlemeye yönelik dolaylı etkileridir; bu durum, kanser kemoterapisi gibi bağışıklığı baskılanmış hastalar, transplantasyon gibi ileri cerrahi girişimler ve entübasyon veya kateterizasyon gibi invaziv işlemler için etkili tedavi seçeneklerinin bulunabilirliğini etkilemektedir Ayrıca çoklu ilaç direnci gösteren bakterilerin neden olduğu enfeksiyonlar ciddi hastalıkların gelişimine, ikincil ve yaygın enfeksiyonlara, hastanede yatış sürelerinin uzamasına, sağlık harcamalarının artmasına ve tedavi başarısızlıklarına yol açmakta; bu durum bireyin ölümüne kadar varabilmektedir (Ferraz 2024).

Süper bakteriler olarak da tanımlanan çok ilaca direnç gösteren bakterilerin yayılması, ilaçlara dirençli enfeksiyon tehdidini dünya genelinde endişe verici bir düzeye taşımıştır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından en önemli üç büyük halk sağlığı riskinden biri olarak kabul edilen AMR, günümüzde kardiyovasküler hastalıkların ardından üçüncü önde gelen ölüm nedeni hâline gelmiştir. 2019 yılında yaklaşık 1,27 milyon ölüm antimikrobiyallere dirençli enfeksiyonlarla ilişkilendirilmiş, yaklaşık 5 milyon ölüm ise ilaca dirençli enfeksiyonlarla

bağlantılı olmuştur. Bu sayıların 2050 yılına kadar yılda 10 milyon ölüme ulaşacağı ve kanser kaynaklı ölümleri aşacağı öngörülmektedir (Salam ve ark. 2023).

Hayvanlarda üç tür AMD gözlemlenebilir: (i) belirli hayvan patojenlerinde AMR; (ii) zoonotik patojenlerde AMD; ve (iii) kommensal bakterilerde AMD. Ekolojik açıdan özellikle üçüncü tür önemlidir, çünkü bu bakterilerin biyokütlesi diğer gruplara göre çok daha büyüktür (Caneschi ve ark. 2023).

Veteriner kullanımına onaylı en yaygın antibiyotiklere karşı bakteriyel direnç, hem hayvanlar hem de insanlar için ciddi bir risk teşkil etmektedir. Örneğin, metisiline dirençli S. pseudintermedius (MRSP)/metisiline dirençli S. aureus (MRSA) ve çoklu ilaç dirençli (MDR) Gram-negatifler, hastane kaynaklı patojenler olup, günümüzde sağlık kuruluşlarının dışında da yüksek bulaşma kapasitesi ile yayılmakta ve özellikle kırılgan bireyler (ör. çocuklar, yaşlılar, bağışıklık sistemi zayıf kişiler) için insan sağlığı açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır (Allerton ve ark. 2021).

Ayrıca, evcil hayvanlar ile insanlar arasındaki sık temas (ör. okşama, yalama veya fiziksel yaralanmalar) ve ev ortamı, antibiyotiğe dirençli bakteri ve genlerin bulaşmasını kolaylaştırmaktadır. Bu hayvanlardan izole edilen bakterilerin insan izolatları ile benzerlik göstermesi ise dirençli suşların türler arasında aktarılma potansiyelinin artışını göstermektedir (Caneschi ve ark. 2023).

5. ANTİBİYOTİK DİRENCİ İLE MÜCADELE STRATEJİLERİ

Antimikrobiyal direnç, yalnızca insan sağlığı için değil, hayvanlar, bitkiler ve çevre için de önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Tıpkı insanların çoklu ilaç dirençli (MDR) bakterilere ev sahipliği yapabilmesi gibi, hayvanlar da bu organizmalar için birer rezervuar görevi görebilir ve bu bakteriler yakın temas veya hayvansal gıda tüketimi yoluyla insanlara geçebilir. Antimikrobiyal direnç sorununu ele almak, tek bir hükümet departmanı veya kuruluşla sınırlı kalmayan, koordineli çabalar gerektirir. Bu, sağlık, tarım, hayvancılık, finans, ticaret ve eğitim gibi çeşitli sektörlerde, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde iş birliği ve koordineli eylem gerektirir. Bu iş birliği farklı şekillerde olabilir; ülke içinde farklı sektörler arasında iş birliğini içeren yatay iş birliği ve ülke, bölge ve uluslararası düzeyde farklı seviyeleri kapsayan dikey iş birliği. Tüm bunların sağlanabilmesi için antimikrobiyal yönetim programları, hayvanlarda antibiyotik kullanımının azaltılması, yeni ilaçlar ve aşıların geliştirilmesi ve ‘Tek Sağlık’ Yaklaşımı önemli yer tutan yaklaşım ve uygulamalardır (Ferraz 2024).

6. ANTİMİKROBİYAL DİRENÇLE MÜCADELEDE TEK SAĞLIK YAKLAŞIMI

Tek Sağlık, "insanlar, evcil hayvanlar, vahşi yaşam, bitkiler ve çevre için en uygun sağlığı elde etmek amacıyla yerel, ulusal ve küresel olarak çalışan, ilgili disiplinleri ve kurumlarıyla birlikte birden fazla sağlık bilimleri mesleğinin işbirliği çabası" olarak tanımlanır [46]. Bu kapsamlı yaklaşımda, insan, hayvan ve çevre sektörlerindeki antimikrobiyal kullanım (ve yanlış kullanım) ile bu sektörler içinde ve arasında direnç mekanizmalarının küresel ölçekte yayılması, AMR'nin başlıca itici güçleri olarak tanımlanır (Palma ve ark. 2020) Tek Sağlık yaklaşımı beş temel ilkeye öncelik verir (Şekil 2) (Buzgan ve Aslan 2025).



Şekil 2. Tek Sağlık yaklaşımının öncelik verdiği ilkeler (Adisasmito ve ark. 2022; Buzgan ve Aslan 2025).

İnsan enfeksiyonlarının tedavisinde kullanılan sınıfların çoğu veterinerlik sektörüyle paylaşılmaktadır ve bu durum mikroorganizmalar üzerinde kümülatif bir seçici baskıya yol açmaktadır; bu nedenle, hem insan, hem veterinerlik hem de çevre alanında antimikrobiyal bazlı tedavilerin etkinliği azalmaktadır (Aarestrup ve ark. 2016). İnsan sektöründe, Tek Sağlık yaklaşımının üstlendiği başlıca eylemler arasında antibiyotik tedavisi reçete edilirken daha yüksek bir bilinç düzeyi, aşırı reçete yazımının önlenmesi ve hijyen koşullarının ve enfeksiyon kontrol planlarının iyileştirilmesi yer almaktadır.

Çevre sektörüyle ilgili Tek Sağlık eylemleri, endüstriyel, sivil ve çiftlik atıklarının uygun şekilde işlenmesini ve sektörler arasında AMR özelliklerinin genel yayılımının azaltılması girişimini içermektedir. Tek Sağlık yaklaşımının çok yönlü ve geniş kapsamlı olduğunu kabul eden bu makale, hayvan sektöründe Tek Sağlık yaklaşımı tarafından harekete geçirilen önlemlere odaklanmaktadır.Bunlar, evcil hayvan popülasyonunun ve insan-hayvan ilişkisinin etkisinin değerlendirilmesi; su ürünleri yetiştiriciliğinin çevre ve insan/hayvan tedavi etkinliği üzerindeki etkisi; ve çeşitli hayvan yetiştiriciliği yapan ülkelerde büyüme artırıcı faktörler olarak antibiyotik kullanımını düzenleyen küresel bir politika ihtiyacının yanı sıra hayvan sürülerinde toplu ilaç kullanımının azaltılmasından oluşmaktadır (Palma ve ark. 2020).

7. SONUÇ

"Tek Sağlık" yaklaşımı insan hekimleri, veteriner hekimler, diş hekimleri, eczacılar, hayvan yetiştiricileri, hayvansal gıda üreticileri, çevre mühendisleri, çevre bilimciler, ilaç üreticileri, dağıtıcıları, satıcıları vb. sağlıkla ilgili birçok mesleğin önemli rolü ve sorumluluklarının bulunduğu kollektif bir mücadeleyi kapsamaktadır. Bu bağlamda küresel bir tehdit oluşturan antimikrobiyal direncin oluşum ve yayılımının önlenmesine yönelik programların gerek ulusal gerekse uluslararası platformda süreğenliği kritik bir önem taşımaktadır.

8. KAYNAKÇA

1. Aarestrup, F.M.;Wegener, H.C.; Collignon, P. Resistance in bacteria of the food chain: Epidemiology and control strategies. Expert Rev. Anti. Infect. Ther. 2008, 6, 733–750
2. Abushaheen, M.A.; Muzaheed; Fatani, A.J.; Alosaimi, M.; Mansy, W.; George, M.; Acharya, S.; Rathod, S.; Divakar, D.D.; Jhugroo, C.; et al. Antimicrobial resistance, mechanisms and its clinical significance. Dis. Mon. 2020, 66, 100971
3. Adisasmito, W B.; Almuhairi, S.; Behravesh, C.B.; Bilivogui, P.; Bukachi, S.A. One Health: A new definition for a sustainable and healthy future. PLOS Pathog, 2022;18(6).
4. Allerton, F.; Prior, C.; Bagcigil, A.F.; Broens, E.; Callens, B.; Damborg, P.; Dewulf, J.; Filippitzi, M.-E.; Carmo, L.P.; Gómez-Raja, J.; et al. Overview and Evaluation of Existing Guidelines for Rational Antimicrobial Use in Small-Animal Veterinary Practice in Europe. Antibiotics 2021, 10, 409
5. Arcilla, M.S.; van Hattem, J.M.; Haverkate, M.R.; Bootsma, M.C.J.; van Genderen, P.J.J.; Goorhuis, A.; Grobusch, M.P.; Lashof, A.M.O.; Molhoek, N.; Schultsz, C.; et al. Import and spread of extended-spectrum beta-lactamase-producing Enterobacteriaceae by international travellers (COMBAT study): A prospective, multicentre cohort study. Lancet Infect. Dis. **2017**, 17, 78–85.
6. Buzgan B, Aslan D. Tek sağlık yaklaşımı ve halk sağlığında iyi uygulamalar. Turk Hij Den Biyol Derg, 2025; 82(4): 667 - 678
7. Caneschi A, Bardhi A, Barbarossa A, Zaghini A. The Use of Antibiotics and Antimicrobial Resistance in Veterinary Medicine, a Complex Phenomenon: A Narrative Review. Antibiotics, 2023, 12, 487.
8. CDC. Antimicrobial Resistance Facts | NARMS | CDC [Internet]. 2024 [cited 2024 Oct 17]. Available from: https://www.cdc.gov/narms/resistance/index.html

9. Chang, Q.; Wang, W.; Regev-Yochay, G.; Lipsitch, M.; Hanage, W.P. Antibiotics in agriculture and the risk to human health: How worried should we be? Evol. Appl. 2015, 8, 240–247.
10. Chaw, P.S.; Hopner, J.; Mikolajczyk, R. The knowledge, attitude and practice of health practitioners towards antibiotic prescribing and resistance in developing countries-A systematic review. J. Clin. Pharm. Ther. 2018, 43, 606–613.
11. Chokshi, A.; Sifri, Z.; Cennimo, D.; Horng, H. Global Contributors to Antibiotic Resistance. J. Glob. Infect. Dis. 2019, 11, 36–42.
12. Çayar S, Ocaktan MS. Antimikrobiyal Direnç Tehdidi: Önlenmesi, Kontrolü ve Yönetimi. Sağlık ve Toplum, 2025, 35 (2): 15-25.
13. Davies J, Davies D (2010) Origins and evolution of antibiotic resistance. Microbiol. Mol Biol Rev 74(3): 417-433.
14. DiMasi, J.A.; Grabowski, H.G.; Hansen, R.W. Innovation in the pharmaceutical industry: New estimates of R&D costs. J. Health Econ. 2016, 47, 20–33.
15. Economou, V.; Gousia, P. Agriculture and Food Animals as a Source of Antimicrobial-Resistant Bacteria. Infect. Drug Resist. 2015, 8, 49–61.
16. Ferraz, M.P. Antimicrobial Resistance: The Impact from and on Society According to One Health Approach. Societies 2024, 14, 187
17. Giedraitienė A, Vitkauskienė A, Naginienė R, Pavilonis A (2011) Antibiotic resistance mechanisms of clinically important bacteria. Medicina (B. Aires) 47(3): 137-146.
18. Gwenzi,W.; Chaukura, N.; Muisa-Zikali, N.; Teta, C.; Musvuugwa, T.; Rzymski, P.; Abia, A.L.K. Insects, Rodents, and Pets as Reservoirs, Vectors, and Sentinels of Antimicrobial Resistance. Antibiotics 2021, 10, 68.
19. Laur, C.; Sribaskaran, T.; Simeoni, M.; Desveaux, L.; Daneman, N.; Mulhall, C.; Lam, J.; Ivers, N.M. Improving antibiotic initiation and duration prescribing among nursing home physicians using an audit and feedback intervention: A theory-informed qualitative analysis. BMJ Open Qual. 2021, 10, e001088
20. Lomovskaya O, Watkins W (2001) Inhibition of efflux pumps as a novel approach to combat drug resistance in bacteria. J. Mol. Microbiol Biotechnol 3(2): 225-236.
21. Ma, F.Y.; Xu, S.X.; Tang, Z.X.; Li, Z.K.; Zhang, L. Use of antimicrobials in food animals and impact of transmission of antimicrobial resistance on humans. Biosaf. Health, 2021, 3, 32–38.

22. McCubbin, K.D.; Anholt, R.M.; de Jong, E.; Ida, J.A.; Nobrega, D.B.; Kastelic, J.P.; Conly, J.M.; Gotte, M.; McAllister, T.A.; Orsel, K.; et al. Knowledge Gaps in the Understanding of Antimicrobial Resistance in Canada. Front. Public Health 2021, 9, 726484.
23. McKeegan, K.S, Borges Walmsley, M.I, Walmsley, A.R. The structure and function of drug pumps: an update. Trends Microbiol, 2003, 11(1): 21-29.
24. Munita, J.M, Arias, C.A. Mechanisms of antibiotic resistance. Microbiol Spectr, 2016, 4(2).
25. Palma E, Tilocca B, Roncada P. Antimicrobial Resistance in Veterinary Medicine: An Overview. Int J Mol Sci. 2020, 11;21(6):1914.
26. Poole, K. Mechanisms of bacterial biocide and antibiotic resistance. J Appl Microbiol, 2002, 92: 55S-64S.
27. Qian J, Wu Z, Zhu Y, Liu C. One Health: a holistic approach for food safety in livestock. Science in One Health, 2022, 1, 100015.
28. Salam, M.A.; Al-Amin, M.Y.; Salam, M.T.; Pawar, J.S.; Akhter, N.; Rabaan, A.A.; Alqumber, M.A.A. Antimicrobial Resistance: A Growing Serious Threat for Global Public Health. Healthcare 2023, 11, 1946.
29. Shaw-Taylor, L. An Introduction to the History of Infectious Diseases, Epidemics and the Early Phases of the Long-Run Decline in Mortality. Econ. Hist. Rev. 2020, 73, E1–E19.
30. Singh, V.P.; Jha, D.; Rehman, B.U.; Dhayal, V.S.; Dhar, M.S.; Sharma, N. A mini-review on the burden of antimicrobial resistance and its regulation across one health sectors in India. J. Agr. Food Res. 2024, 15, 100973
31. Smit, C.C.H.; Lambert, M.; Rogers, K.; Djordjevic, S.P.; Van Oijen, A.M.; Keighley, C.; Taxis, K.; Robertson, H.; Pont, L.G. One Health Determinants of Antimicrobial Resistance in Humans in the Community: An Umbrella Review. Int. J. Mol. Sci. 2023, 24, 17204.
32. Soto, S.M. Role of efflux pumps in the antibiotic resistance of bacteria embedded in a biofilm. Virulence 2013, 4(3): 223-229.
33. Yalew ST. Review on Antibiotic Resistance: Resistance Mechanisms, Methods of Detection and Its Controlling Strategies. Biomed J Sci & Tech Res 24(5)-2020. BJSTR. MS.ID.004121.

BAKTERİLERDE BİYOFİLM OLUŞUMU: ÖNEMİ VE MEKANİZMALARI

Doç. Dr. Aliye GÜLMEZ SAĞLAM

Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Kars-Türkiye

E-mail: aliye.saglam@kafkas.edu.tr-ORCID: 0000-0002-7639-5075

Dr. Öğr. Üyesi Elif ÇELİK

Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Kars-Türkiye

E-mail: elif.celik@kafkas.edu.tr- ORCID: 0000-0003-4531-3863

Araş. Gör. Dr. Seda GÖKDEMİR

Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Kars-Türkiye

E-mail: sedaadurhan@gmail.com- ORCID: 0000-0003-2540-1364

ÖZET

Biyofilmler, bakteri, maya, küf ve mavi-yeşil algler tarafından oluşturulabilen ekstraselüler polimerik madde (EPS), proteinler, hücre dışı DNA (eDNA), çeşitli enzimler ve mikroorganizmaların kendisinden oluşan kompleks bir matriks yapısına sahiptir. Biyofilm oluşumu, üreme ortamı, yüzey özellikleri ve hücre yüzeyi gibi faktörlerle düzenlenebilen karmaşık bir süreçtir. Biyofilmler, doğada yaygın olarak bulunur ve akarsulardaki kayalar, memeli dişleri, bitki kökleri ve su boruları gibi birçok farklı yüzeye yapışabilirler. Mikroorganizmaların biyofilm oluşturma kapasitesi, özellikle patojenik türler için önemli bir virülans faktörü olarak kabul edilir ve enfeksiyonların patogenezinde kritik bir rol oynar. Biyofilm oluşumu, adsorpsiyon, yapışma, mikrokoloni oluşumu, olgunlaşma ve dağılım aşamalarını içeren çok basamaklı bir süreçtir. Bu sürecin düzenlenmesinde quorum sensing olarak bilinen hücreler arası sinyal mekanizması ile düzenlenmektedir ve böylece popülasyon yoğunlukları sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla, biyofilmler, mikroorganizmaların zorlu koşullardan korunmasına, rekabet gücünün artmasına ve çeşitli hücresel işlevlerine katkıda bulunurlar. Biyofilmler halk sağlığı için önemlidir; enfeksiyonlardaki rolleri ve cihaz kaynaklı enfeksiyonlardaki önemleri büyüktür. Patojen mikroorganizmalar tarafından oluşturulan biyofilmler, hem canlı yüzeylerde (dişler ve bağırsak mukozası vb.) hem de cansız nesnelerde (kateterler, kontakt lensler, kalp pilleri vb.) gelişebilir ve hastane kaynaklı kronik enfeksiyonlara yol açabilirler. İnsan enfeksiyonlarının %80'inin biyofilmlerle ilişkili olduğu bildirilmiştir. Biyofilmlerin evcil hayvanlar üzerindeki etkileri de ciddi boyutlara ulaşabilir ve hem hayvan sağlığı açısından sonuçlar doğurabilir hem de veteriner hekimlerin teşhis ve tedavi süreçlerinde karşılaştığı zorlukları arttırabilir. Biyofilm, oluşumundan sorumlu olan mikroorganizmanın antibiyotik direnci geliştirmesi sonucunda biyofilm kaynaklı enfeksiyonların tedavisini zorlaştırır. Bu inceleme, biyofilmin bileşimi, oluşumu, ilaç direncine yol açan mekanizmaları özetlemektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikroorganizma, Biyofilm, Antimikrobiyal Direnç

BIOFILM FORMATION IN BACTERIA: IMPORTANCE AND MECHANISMS

Abstract

Biofilms possess a complex matrix structure composed of extracellular polymeric substances (EPS), proteins, extracellular DNA (eDNA), various enzymes, and the microorganisms themselves, which can be formed by bacteria, yeast, mold, and blue-green algae. Biofilm formation is a sophisticated process that can be regulated by factors such as the growth environment, surface properties, and the cell surface. Biofilms are widespread in nature and can adhere to many different surfaces, such as rocks in streams, mammalian teeth, plant roots, and water pipes. The capacity of microorganisms to form biofilms is considered an important virulence factor, especially for pathogenic species, and plays a critical role in the pathogenesis of infections. Biofilm formation is a multi-step process involving the stages of adsorption, adhesion, microcolony formation, maturation, and dispersion. This process is regulated by an intercellular signaling mechanism known as quorum sensing, through which population densities are attempted to be kept stable. Consequently, biofilms contribute to the protection of microorganisms from harsh conditions, the enhancement of their competitiveness, and their various cellular functions. Biofilms are important for public health; their role in infections and their significance in device-related infections are substantial. Biofilms formed by pathogenic microorganisms can develop on both living surfaces (e.g., teeth and intestinal mucosa) and inanimate objects (e.g., catheters, contact lenses, pacemakers) and can lead to hospital-acquired chronic infections. It has been reported that 80% of human infections are associated with biofilms. The effects of biofilms on domestic animals can also reach serious dimensions, leading to consequences for animal health and increasing the challenges faced by veterinarians in diagnosis and treatment processes. Biofilms complicate the treatment of biofilm-derived infections as a result of the microorganism responsible for its formation developing antibiotic resistance. This review summarizes the composition of biofilms, their formation, and the mechanisms leading to drug resistance.

Keywords: Microorganism, Biofilm, Antimicrobial Resistance

1. GİRİŞ

Mikroskobun icadıyla birlikte mikroorganizmaların varlığı tanımlanmıştır. Antony Van Leeuwenhoek, kendi dişindeki mikroorganizmaları ilk kez 17. yy'da gözlemlemiştir (Donlan, 2002). Zobell (1943) ise deniz suyunda serbest olarak yüzen bakterilerin deniz içerisinde bir yüzeye tutunan bakterilerden daha az olduğunu belirtmiştir. Bu süreçten sonra, biyofilmlerin özelliklerine ilişkin araştırmalar 1960'lı yılların sonuna ve 1970'lerin başına kadar sınırlı kalmıştır. Heukelekian ve Heller, denizde yaşayan mikroorganizmalarda "Şişe Etkisi" adı verilen ve yüzeye yapışmanın mikrobiyal büyüme ve aktiviteyi artırdığı anlamına gelen durumu tanımlamıştır (Jamal ve ark., 2018). Characklis (1973) tarafından yapılan bir araştırmada, endüstriyel su sistemlerindeki mikrobiyal sümüksü yapıların (slime) yüzeylere sıkıca tutunduğu ve klor gibi dezenfektanlara karşı dirençli olduğu gösterilmiştir. Costerton ve ark.'nın (1978) dağlardaki akarsularda yaşayan bakteriler üzerine yaptığı araştırmalar, bakterilerin yüzeylere yapışarak balçık benzeri yapılar oluşturduğunu göstermiştir. Anthony Van Leeuwenhoek ilk olarak yüzeyle ilişkili bakterileri gözlemlemiş, ancak "biyofilm" kelimesi Costerton ve arkadaşları (1978) tarafından kullanılmıştır. Biyofilmlerin önemi, 1993 yılında Amerikan Mikrobiyoloji Derneği tarafından kabul edilmiştir. Costerton ve ark.'ları 1999 yılında biyofilmi, bir yüzeye yapışan mikroorganizmalar tarafından üretilen polimerik bir matris içinde yer alan organize mikroorganizma topluluğu olarak ayrıntılı bir şekilde tanımlamışlardır.

Biyofilm yapısı, çeşitli mikroorganizmaların genellikle sıvı yüzeyler üzerinde koloni halinde bulunduğu ve çoğaldığı, kendisi tarafından üretilen ekstraselüler polimerik maddeler (EPS) içeren bir matriks içine gömülü mikrobiyal hücre topluluğu olarak tanımlanmaktadır (Sharma ve ark., 2023). Mikroorganizmalar tarafından salgılanan biyofilm yapıları en yaygın yaşam formlarından olup su, toprak ve yeraltı ortamlarında bulunurlar. Biyoteknoloji alanında, içme sularının filtrelenmesi, kirli suların arıtılması ve biyoyakıt üretimi gibi fayda sağlanan süreçlerde kullanılırlar. Ancak biyofilmler yararlı alanlarda kullanılmakla birlikte bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda kalıcı enfeksiyonlara neden olabilir; tıbbi cihazları kontamine edebilir, proses suyunu kirletebilir, içme suyu kalitesini bozabilir ve mikrobiyal korozyona yol açabilir (Flemming ve ark., 2016).

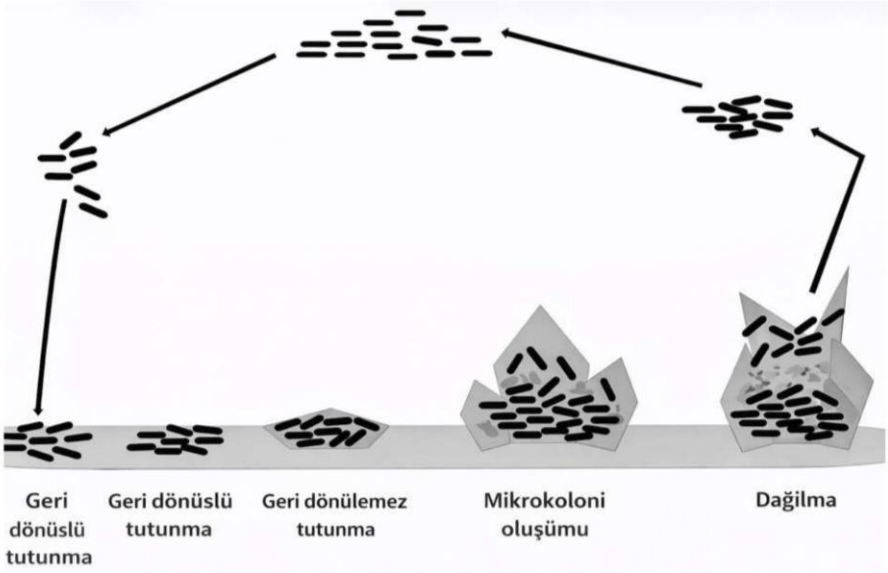
Biyofilm oluşturan mikroorganizmalar, pH, ozmotik basınç, aşırı sıcaklık ve besin yetersizliği gibi olumsuz çevresel değişkenlerden kısmen korunurlar. Dolayısıyla, biyofilm yapısı bakterileri olumsuz çevre şartlarından, antimikrobiyal maddelerden, dezenfektanlardan ve konak immün sistem hücrelerinden korumaktadır. Mikroorganizmaların biyofilm aracılığı ile kazandığı bu koruyucu yapının büyük çoğunluğunu EPS oluşturmaktadır. Yani, biyofilmin biyokütlesinin çoğu, mikrobiyal hücrelerden ziyade EPS'den meydana gelmektedir. EPS, yapısal güç sağlar, biyofilmin belli bir yüzeye tutunmasına olanak tanır, beslenmeyi düzenler ve hem antimikrobiyal tedavilere hem de konakçı immün sistemine karşı koruma sağlar. Biyofilm matriksindeki EPS moleküllerinin kendiliğinden organize olması, EPS'deki moleküllerin etkileşimine dayanır. Bu etkileşimler aynı zamanda matriksin mekanik özelliklerini ve biyofilmdeki organizmaların fizyolojik aktivitesini belirler (Singh ve ark., 2025). Biyofilmin yapısında temel olarak mikrobiyal hücreler ve hücre dışı polimerik maddeler (EPS) yer almaktadır. Genellikle polisakkaritlerden meydana gelen EPS, biyofilmin ana

bileşenidir ve %50-90'ını oluşturmaktadır. Gram-negatif bakterilerde EPS, anyonik özellik kazanarak iki değerlikli katyonlarla çapraz bağlanır ve bağlanma kuvvetini artırır. Gram-pozitif bakterilerde EPS katyonik olabilir (Donlan, 2002; Sharma ve ark., 2023). Biyofilm hacminin %5-35'ini mikroorganizmalar oluşturur ve geri kalanı, kısmen veya çoğunlukla proteinlerden oluşan hücre dışı matristir. Biyofilmin yapısında ekzopolisakkaritler, proteinler, eDNA, enzimler ve su yer almaktadır. Mikroorganizmaların çevresini saran bu matriks yapısı çevreden besinleri ve mineralleri yakalar. Hücre dışı polimerik maddeler arasında proteinler (>%2), polisakkaritler (%1-2), DNA ve RNA molekülleri (<%1), iyonlar ve %97 oranında su yer almaktadır. Biyofilm içindeki temel besin akışı su içeriğine bağlıdır (Allison, 2003; Jamal ve ark. 2018).

Biyofilm tabakasında hem dış kaynaklardan sağlanan hem de kendi hücreleri tarafından üretilen enzimler yakalanır. Biyofilm içerisinde yer alan mikroorganizmalar, serbest yaşayan bakterilere kıyasla hücre dışı enzimleri daha verimli kullanır. Planktonik bakterilerin salgıladığı enzimler dağılırken, biyofilm içerisinde bulunanların salgıladığı enzimler biyofilmde tutulur ve matrikste birikir. Bu durum, aktif bir matriks veya dış sindirim sistemi oluşturur. Enzimlerin matriks bileşenleriyle etkileşimi, enzimlerin stabilizasyonunu ve enzimatik aktivitenin devamlılığını sağlayarak biyofilm topluluğunu ani değişikliklerden korur (Flemming ve ark., 2016).

1.1.Biofilm Oluşumu

Biyofilm oluşumu, tutunma, yapışma, mikrokoloni oluşumu, olgunlaşma ve dağılım aşamalarını içeren çok basamaklı bir süreçtir. Bu süreç quorum sensing olarak bilinen hücreler arası sinyal iletim mekanizması ile düzenlenmektedir (Sutherland, 2001; Sharma ve ark., 2023). Bakteriyel biyofilm oluşum süreci, sıcaklık ve pH değişiklikleri, besin içeriği, quorum sensing ve yüzey özelliklerinden etkilenir. Olgun biyofilmin yapısı, içten dışa doğru matriks tabakası, düzenleyici tabaka, bağ doku tabakası ve bakteriyel biyofilm tabakasından oluşur (Zhao ve ark., 2023).



Görsel 1: Biyofilm oluşum aşamaları (De Silva ve Heo, 2022)

1.1.1. Yüzeye İlk Temas/Bağlanma

Kemotaksis, planktonik bakterilerin çeşitli kimyasal uyaranlara doğru hareket etme yeteneğidir. Bu süreç, bakteri ve yüzey arasındaki etkileşimi teşvik ederek yüzeyde kolonizasyonu ve büyümeyi uyarır. Bir yüzeye ulaştıklarında, çekici ve itici kuvvetlerin birleşimi bunların nasıl etkileşeceğini belirler: itici kuvvet baskınsa yapışma meydana gelmez; çekici kuvvet baskınsa yapışma meydana gelir (Carniello ve ark., 2018). Dolayısıyla, biyofilm oluşumunun ilk aşaması herhangi bir yüzey (genellikle sıvı yüzeyler) üzerinde mikroorganizmaların yapışmasıdır. Serbest planktonik bakterilerin bir yüzeyle karşılaşması yapışmayı başlatır. Fimbria veya van der Waals kuvvetleri, elektrostatik etkileşimler vb. gibi diğer fiziksel kuvvetler aracılığıyla yüzeye tutunma gerçekleşir. Bu ilk aşamadaki yüzeysel tutunma büyük ölçüde rastlantısaldır ve kolayca tersine çevrilebilir. Tutunma derecesi, yüzey bileşimi, bakteri yüzey özellikleri, sıcaklık ve basınç gibi çeşitli çevresel faktörlerden etkilenir. Hidrofobik, sterik, elektrostatik ve protein yapışması gibi etkileşimler yapışmayı kontrol eder. Bu kuvvetlerin birleşik etkisi, bakterilerin itici kuvvetleri aşarak yüzeye kalıcı olarak bağlanmasını ve tek bir tabaka oluşturmasını sağlar. (Sharma ve ark., 2023; Singh ve ark., 2025). Mikroorganizmalar, hidrofobik yüzeylere (teflon, plastik) hidrofilik yüzeylere (metaller, cam) göre daha kolay yapışır (Jamal ve ark., 2018).

1.1.2. Mikrokoloni Oluşumu

Biyofilm oluşumunun ikinci aşaması olan tutunmada, mikroorganizma spesifik adezyon proteinleri aracılığıyla dış katmana bağlanmaktadır. Bu aşamada, başlangıçta yüzeysel bağlanan organizmalar, yüzey materyalleri ve/veya fimbria ve fibrillerdeki reseptöre özgü ligandlarla etkileşime giren EPS oluşturarak yapışmayı sağlamlaştırır (Sharma ve ark., 2023). Mikroorganizmaların bir yüzeye yapışması ve stabilizasyonunu takiben, EPS içindeki kimyasal sinyaller mikrobiyal hücrelerin çoğalmasını ve bölünmesini başlatır. Bu aşamada biyofilm ilişkili protein (BAP), SasG, protein A, fibronektin bağlayıcı proteinler, OmpA ve diğer bazı yüzey ilişkili proteinler, özellikle tutunmanın ilk aşamalarında biyofilm oluşumuna katılırlar. Quorum sensing aracılığıyla kurulan hücreler arası temas, gen ekspresyonunda değişiklikleri tetikler ve böylece mikroorganizmalar çoğalır, daha fazla EPS üretir ve mikrokoloniler oluştururlar. Biyofilmlerdeki bakteri kolonileri genellikle substrat değişimi, metabolik ürün dağıtımı ve salgılama gibi süreçleri koordine eden çeşitli mikro topluluklardan oluşur. Örneğin, anaerobik sindirimde karmaşık organik maddelerin CH_4 ve CO_2'ye dönüşümü, fermantatif, asetojenik bakteriler ve metanojenler gibi en az üç bakteri türünün iş birliğini gerektirir. Biyofilmler, metabolik olarak farklı bakterilerin enerji üretimi için birbirlerine bağımlı olduğu etkileşimleri destekleyen uygun bir ortam sağlar (Davey ve O'toole, 2000; Jamal ve ark., 2018; Singh ve ark., 2025).

1.1.3. Olgunlaşma

Mikroorganizmalar arası iletişim, gerekli mikrobiyal yoğunluğa ulaşmada kritik bir adımdır. Biyofilm oluşumunun bu evresinde, mikrobiyal hücreler, quorum sensing mekanizmasını aktive eden otoindükleyici sinyaller vasıtasıyla etkileşim kurarlar. Bu aşamada, mikroorganizmaların birbirine yapışması gözlemlenir ve çok katmanlı bir biyofilm oluşumuna katkıda bulunan yapışkan bir matriks üretilir. EPS olarak bilinen bu matriks, esas olarak ekzopolisakkaritler, proteinler ve DNA'dan oluşur ve biyofilmin üç boyutlu yapısının gelişmesini sağlar. Biyofilm yaşlandıkça, bakteri toplulukları kurulan metabolik iş birliği

sayesinde giderek daha organize bir şekilde büyür. Bu durum, içi boş kanallara sahip karmaşık, üç boyutlu yapılar oluşturur. İçi su dolu bu kanallar, mikrokolonilere besin dağıtımını ve atık uzaklaştırmasını sağlayan bir dolaşım sistemi görevi görür (Parsek ve Singh, 2003; Jamal ve ark., 2018; Araújo ve ark., 2024).

1.1.4. Biyofilm Tabakasının Ayrılması/Dağılması

Bakteriyel biyofilmlerin dağılma süreci, biyofilm gelişiminin son evresini temsil etmektedir. Zamanla, olgunlaşmış bakteriyel biyofilmler yapısal bozulmaya uğrayabilir ve biyofilm yapısı değişim gösterebilir (Shen ve ark., 2018; Sharma ve ark., 2023). Bu aşamada, biyofilm içindeki mikrobiyal hücreler hızla çoğalır ve dönüşüme uğrayarak hareketli hale gelir ve dağılır. Dağılma doğal bir süreçtir, bazı bakteri türleri hücre dışı polisakkarit üretimini durdururken, diğerleri doğrudan çevreye dağılır. Mekanik stres de bu süreçte rol oynayabilir. Dağılma mekanizmaları bakteri türüne bağlı olarak değişmekle birlikte, süreç genellikle üç temel aşamayı içerir: bakterilerin küçük kolonilerden ayrılması; bakterilerin farklı yüzeylere transferi ve bakterilerin yeni yüzeylere bağlanması. Mikroorganizmaların ayrılarak diğer doku ve organlar yayılması enfeksiyonun yayılması anlamına gelir (Jamal ve ark., 2018). Serbest bırakıldıktan sonra, bakteriler ya vücudun farklı organlarında yeni biyofilmler oluşturur ya da hareketliliğe yardımcı olan proteinlerin üretimini uyararak yüzeyde serbestçe dolaşır (Shen ve ark., 2018; Sharma ve ark., 2023).

2. HAYVAN SAĞLIĞI ÜZERİNE BİYOFİLMİN ETKİSİ

Doğal ortamlarda mikroorganizmalar tarafından oluşturulan biyofilm tabakalarının artan önemi, bunların insanlarda ve hayvanlarda enfeksiyonlara neden olma olasılığının yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC) verilerine göre, insanlardaki bakteriyel enfeksiyonların %65'i mikrobiyal biyofilmlerle ilişkilidir (Batz ve ark., 2012). Ulusal Sağlık Enstitüleri (NIH) ise mikrobiyal enfeksiyonların %65'inin ve kronik enfeksiyonların %80'inin biyofilm oluşumuyla bağlantılı olduğunu belirtmektedir. Hayvanların farklı yetiştirme ve yaşam koşulları göz önüne alındığında, enfeksiyon ve biyofilm oluşumu riskinin hayvan türlerinde insanlara kıyasla daha yüksek olduğu düşünülmektedir (Kıran ve ark., 2023).

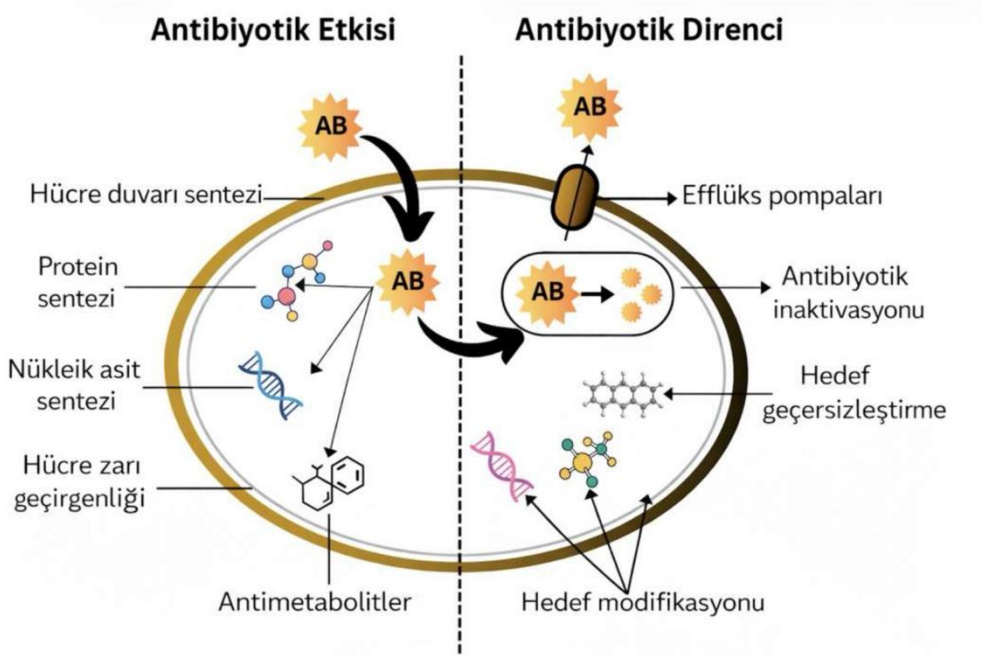
Biyofilmler hayvan sağlığı için ciddi sonuçlar doğurabilir ve veteriner hekimlerin hastalıkları teşhis etmesini ve tedavi süreçlerini zorlaştırabilir. Mikroorganizmalar kronik enfeksiyonlara neden olarak verimliliği ve ürün kalitesini düşürebilir. Biyofilmler hayvanlarda deri ve mukozal membranlarda enfeksiyonlara neden olabilir (örneğin *Staphylococcus* spp., *Pseudomonas aeruginosa*). Solunum yollarında biyofilm oluşumu kronik solunum yolu enfeksiyonlarına yol açar (*P. aeruginosa, Klebsiella pneumoniae* ve *Streptococcus* spp.). Mesane ve böbreklerde biyofilm birikimi idrar yolu enfeksiyonlarına neden olur (*E. coli, P. mirabilis* ve *Enterococcus* spp.). Benzer şekilde, gastrointestinal sistemde biyofilm oluşumu kronik bağırsak enfeksiyonlarına yol açabilir (*E. coli, Salmonella* ve *Clostridium difficile*). İnsan ve hayvan hastalıklarının %40'ından fazlası biyofilm kaynaklıdır. Bu nedenle, enfeksiyonlarda alınacak biyogüvenlik önlemleri oldukça önemlidir (Araújo ve ark., 2024).

Tek Sağlık yaklaşımından bakıldığında, hayvanlardaki biyofilm kaynaklı enfeksiyonlar önemli bir sorundur. Hayvanlarda biyofilm oluşturabilen birçok bakteri türü (*B. bronchiseptica, S.*

aureus, E. coli, Salmonella spp., *K. pneumoniae* ve *P. aeruginosa)* zoonotik karaktere sahip olup insanlarda da çeşitli hastalık tabloları meydana getirebilir. Bu patojenler tarafından oluşturulan biyofilmler hayvanlarda kronik enfeksiyonlara yol açar. Bu durum, doğrudan temas veya kontamine gıda/çevre yoluyla insanlara bulaşma riskini artırır. "Tek Biyofilm" kavramı, Jacques ve Malouin tarafından Tek Sağlık çerçevesinde önerilmiştir. Bu kavram, insanlar, hayvanlar ve çevre arasında biyofilm/agrega oluşumu ile çevre arasındaki karmaşık bağlantıyı vurgular (Jacques ve Malouin, 2022; Nesse ve ark., 2023).

3. BİYOFİLM VE ANTİBİYOTİK DİRENCİ

Antibiyotikler etkilerini proteinlerin, nükleik asitlerin ve hücre duvarlarının sentezini inhibe ederek, hücre zarı geçirgenliğini artırarak ve antimetabolitler üreterek gösterirler. Bununla birlikte bakteriler, hedef modifikasyonu, ilacın inaktivasyonu, metabolik kaçış ve antibiyotiklerin akış pompaları yoluyla hücreden uzaklaştırılması dahil olmak üzere direnç mekanizmaları geliştirmiştir. Bu karmaşık etkileşimleri anlamak, etkili antibiyotik tedavileri ve dirençle mücadele stratejileri geliştirmek için hayati öneme sahiptir (Singh ve ark., 2025). Biyofilmle ilişkili enfeksiyonlar geleneksel antibiyotik tedavilerine dirençlidir. Biyofilmin koruyucu matrisi antibiyotiklerin etkinliğini sınırlayarak enfeksiyonun tamamen ortadan kaldırılmasını zorlaştırır. Antimikrobiyal ajanların etkilerini gösterebilmeleri için difüzyon yoluyla mikrobiyal hücrelere nüfuz etmeleri gerekir. Ancak biyofilm matriksi ilacın penetrasyonunu engelleyen bir bariyer görevi görür. Antimikrobiyallerin etkinliği, EPS matriksi tarafından, antimikrobiyallerin enzimatik bozunma yoluyla etkisizleştirilmesi veya bunların komplekslerde tutulması yoluyla azaltılabilir. Ayrıca, besin maddelerinin kısıtlanması ve düşük oksijen seviyelerinin varlığı, yavaş büyüme oranları nedeniyle antimikrobiyal sentez yollarının inhibisyonuna neden olabilir. Bu durum hastalıklarda maliyetli ve zahmetli olabilen tedavi protokollerinin uzamasına ve tekrarlanmasına neden olabilir. Mikroorganizmaların antibiyotiklere duyarlılığı, biyofilm matriksinden ayrılır ayrılmaz çok hızlı bir şekilde eski haline dönebilir (De Silva ve Heo, 2022; Araújo ve ark., 2024; Singh ve ark., 2025).



Görsel 2: Antibiyotik aktivitesi ve bakteriyel direnç arasında ilişki (Singh ve ark., 2025).

4. SONUÇ

Mikrobiyal biyofilmlerin yaygınlığı ve insan sağlığı üzerindeki önemli etkileri göz önüne alındığında, hayvan sağlığında da önemlerinin göz ardı edilmemesi çok önemlidir. Hayvanlarda biyofilm kaynaklı enfeksiyonlar, yara enfeksiyonları, ağız sağlığı sorunları ve mastitis gibi durumlara yol açabilir. Dahası, insanlardaki biyofilm enfeksiyonlarının yarısından fazlasının zoonotik kökenli olduğu bilinmektedir. Hayvan enfeksiyonlarında biyofilmler üzerine yapılan araştırmalar sınırlı olsa da mevcut bulgular hayvanlarda biyofilm oluşumunu önlemek için tedavi ve önleme stratejileri geliştirmenin gerekliliğini vurgulamaktadır. Etkili tanı ve tedavi yöntemleri olmadan, biyofilmler hayvan hastalıklarında sorun olmaya devam edecektir. Bu nedenle, bu alanda mikrobiyal biyofilmler ile ilgili yeterli bilgiye ulaşmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

Allison, D.G. The Biyofilm Matrix. Biofouling, 19, 139-50, 2003.

Araújo, D., Silva, A. R., Fernandes, R., Serra, P., Barros, M. M., Campos, A. M., Oliveira, R., Silva, S., Almeida, C., Castro, J. Emerging Approaches For Mitigating Biofilm-Formation-Associated Infections in Farm, Wild, And Companion Animals, Pathogens, 13, 320, 2024.

Batz, M. B., Hoffmann, S., Morris, J. G. Ranking The Disease Burden of 14 Pathogens in Food Sources in The United States Using Attribution Data From Outbreak Investigations and Expert Elicitation, Journal of Food Protection, 75, 1278-1291, 2012.

Carniello, V., Peterson, B. W., van der Mei, H. C., Busscher, H. J. Physico-Chemistry From İnitial Bacterial Adhesion to Surface-Programmed Biofilm Growth, Advances in Colloid and Interface Science, 261, 1–14, 2018.

Characklis, W. G. Attached Microbial Growths—II. Frictional Resistance Due to Microbial Slimes, Water Research, 7, 1249–1258, 1973.

Costerton, J. W., Geesey, G. G., Cheng, K. J. How Bacteria Stick, Scientific American, 238, 86-95, 1978.

Costerton, J. W., Stewart, P. S., Greenberg, E. P. Bacterial Biofilms: A Common Cause of Persistent Infections. *Science (New York, N.Y.)*, *284*(5418), 1318–1322, 1999.

Davey, M. E., O'toole, G. A. Microbial Biofilms: from Ecology to Molecular Genetics, Microbiology and Molecular Biology Reviews, 64, 847–867, 2000.

De Silva, L. A. D. S., Heo, G. J. Biofilm Formation of Pathogenic Bacteria Isolated From Aquatic Animals, Archives of Microbiology, 205, 36, 2022.

Donlan, R. M. Biofilms: Microbial Life on Surfaces, Emerging Infectious Diseases, 8, 881–890, 2002.

Flemming, H. C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Rice, S. A., Kjelleberg, S. Biofilms: An Emergent form of Bacterial Life, Nature Reviews Microbiology, 14, 563–575, 2016.

Jacques, M., Malouin, F. One Health-One Biofilm, Veterinary Research, 53, 51, 2022.

Jamal, M., Ahmad, W., Andleeb, S., Jalil, F., Imran, M., Nawaz, M. A., Hussain, T., Ali, M., Rafiq, M., Kamil, M. A. Bacterial Biofilm and Associated Infections, Journal of the Chinese Medical Association, 81, 7–11, 2018.

Kıran, F., Karaca, B., Erdoğan, A. F. Microbial Biofilms in Veterinary Medicine, Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 70, 107-114, 2023.

Nesse, L. L., Osland, A. M., Vestby, L. K. The Role of Biofilms in The Pathogenesis of Animal Bacterial Infections, Microorganisms, 11, 608, 2023.

Parsek, M. R., Singh, P. K. Bacterial Biofilms: An Emerging Link to Disease Pathogenesis, Annual Review of Microbiology, 57, 677–701, 2003.

Sharma, S., Mohler, J., Mahajan, S. D., Schwartz, S. A., Bruggemann, L., Aalinkeel, R. Microbial Biofilm: A Review on Formation, Infection, Antibiotic Resistance, Control Measures, and Innovative Treatment, Microorganisms, 11, 1614, 2023.

Shen, D., Langenheder, S., Jürgens, K. Dispersal Modifies The Diversity and Composition of Active Bacterial Communities in Response to A Salinity Disturbance, Frontiers in Microbiology, 9, 2018.

Singh, B., Dahiya, M., Kumar, V., Ayyagari, A., Chaudhari, D.N., Ahire, J.J. Biofilm and Antimicrobial Resistance: Mechanisms, Implications, and Emerging Solutions. Microbiological Research, 16, 183, 2025.

Sutherland, I. W. The Biofilm Matrix-An Immobilized But Dynamic Microbial Environment, Trends in Microbiology, 9, 222–227, 2001.

Zhao, A., Sun, J., Liu, Y. Understanding Bacterial Biofilms: From Definition to Treatment Strategies, Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 13, 1137947, 2023.

Zobell, C. E. The Effect of Solid Surfaces on Bacterial Activity, Journal of Bacteriology, 46, 39-56, 1943.

Genotoxic Effects of Aluminum Oxide Nanoparticles in *Galleria mellonella*

İrem ÖZGÜVEN
AVU Fen-Edebiyat Fakültesi
Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
61000 Ortahisar / TRABZON
iremozgvn6@gmail.com, ORCID: 0009-0007-3467-7270

Famil YUSUFOĞLU
Kocaeli Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlık Binası
Biyoloji Bölümü
Hayvan Fizyolojisi Laboratuvarı / 121
41380 İzmit / KOCAELİ
familyusufoglu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4245-8074

Dr. Zülbiye DEMİRTÜRK
Kocaeli Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlık Binası
Biyoloji Bölümü
Hayvan Fizyolojisi Laboratuvarı / 121
41380 İzmit / KOCAELİ
zulbiye.demirturk@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3107-4278

Dr. Öğr. Üyesi Fevzi UÇKAN
KOU Fen-Edebiyat Fakültesi
Biyoloji Bölümü
Hayvan Fizyolojisi Laboratuvarı / 121
41380 İzmit / KOCAELİ
Fevzi.uckan@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9304-4296

ABSTRACT

The use of vertebrate animals in scientific research currently raises economic, spatial, and ethical concerns. *Galleria mellonella*, commonly known as a pest of honeybees in nature, has recently been adopted as an *in vivo* model organism in studies investigating pathogenicity, nanoparticle toxicity, genotoxicity, and epigenetic mechanisms. Nanoparticles are materials that differ physically from their bulk and molecular counterparts. Due to their unique biochemical and physicochemical properties, aluminum oxide (Al_2O_3) nanoparticles are widely utilized in scientific and industrial fields, including medicine, biotechnology, and chemistry. Previous studies have demonstrated that Al_2O_3 nanoparticles can induce reactive oxygen species (ROS) production, DNA damage, and chromosomal abnormalities in cells. These effects have been shown to vary depending on factors such as dose, exposure duration, and particle size.

The Comet Assay, also known as single-cell gel electrophoresis, is a sensitive method used to detect DNA damage at the cellular level. In this study, the genotoxic effects of Al_2O_3 nanoparticles administered orally were evaluated in *G. mellonella* larvae using the Comet Assay. Experimental groups consisted of larvae fed with a synthetic diet supplemented with Al_2O_3 nanoparticles at concentrations of 50, 100, 500, and 1000 ppm, while a control group received nanoparticle-free diet. Analysis of the results revealed a significant increase in DNA damage at intermediate doses, particularly at 500 ppm. In contrast, the highest dose showed a decrease or no significant change in DNA damage levels. These findings indicate that Al_2O_3 nanoparticles may exert genotoxic effects on *G. mellonella* at specific doses. Similar observations in the literature suggest that reduced damage at higher doses may be associated with cell death or activation of DNA repair mechanisms. Overall, the results demonstrate that the genotoxic effects of Al_2O_3 nanoparticles are dose-dependent and influenced by exposure duration and organism-specific characteristics. Furthermore, this study highlights *G. mellonella* as an ethical, cost-effective, and reliable *in vivo* model for nanogenotoxicity research.

Keywords:

Aluminum oxide, Comet assay, Nanoparticle, *Galleria mellonella*, Genotoxicity

Alüminyum Oksit Nanopartiküllerin *Galleria mellonella*'da Genotoksik Etkileri

İrem ÖZGÜVEN
AVU Fen-Edebiyat Fakültesi
Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
61000 Ortahisar / TRABZON
iremozgvn6@gmail.com, ORCID: 0009-0007-3467-7270

Famil YUSUFOĞLU
Kocaeli Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlık Binası
Biyoloji Bölümü
Hayvan Fizyolojisi Laboratuvarı / 121
41380 İzmit / KOCAELİ
familyusufoglu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4245-8074

Dr. Zülbiye DEMİRTÜRK
Kocaeli Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlık Binası
Biyoloji Bölümü
Hayvan Fizyolojisi Laboratuvarı / 121
41380 İzmit / KOCAELİ
zulbiye.demirturk@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3107-4278

Dr. Öğr. Üyesi Fevzi UÇKAN
KOU Fen-Edebiyat Fakültesi
Biyoloji Bölümü
Hayvan Fizyolojisi Laboratuvarı / 121
41380 İzmit / KOCAELİ
Fevzi.uckan@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9304-4296

ÖZET

Günümüzde bilimsel çalışmalarda omurgalı canlı kullanımı ekonomik, mekânsal ve etik sorunları beraberinde getirmektedir. Doğada bal arıları zararlısı olarak bilinen *Galleria mellonella* günümüzde patojenite, nanopartikül toksisitesi, genotoksisite ve epigenetik mekanizmaların incelendiği çalışmalarda bir *in vivo* model organizma olarak kullanılmaya başlanmıştır. Nanopartiküller kütlesel ve moleküler olarak eşdeğerlerinden fiziksel açıdan farklılaşmış malzemelerdir. Alüminyum oksit (Al_2O_3) nanopartikülü eşsiz biyokimyasal, fizikokimyasal özellikleri sayesinde bilimsel ve endüstriyel alanlarda (Medikal, Biyoteknoloji, Kimya) sıkça kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalarda Al_2O_3 nanopartiküllerinin hücrelerde ROS (Reaktif oksijen türleri) üretimi, DNA hasarları ve kromozomal anormalliklere neden olduğu belirlenmiştir. Bu etkilerin doz, etki süresi ve boyut gibi etkenlere bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

Comet Assay diğer bir adıyla Tek Hücre Jel Elektroforezi hücrelerde DNA hasarlarını tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. Al_2O_3 nanopartiküllerinin besin yoluyla uygulandığı *G. mellonella* larvalarında genotoksisite comet assay ile incelendi. Çalışmamızda Al_2O_3 sentetik besinın (Sadece su oranı değiştirilen) içeriğine eklenerek oluşturulan 50, 100, 500 ve 1000 ppm doz grupları ve Al_2O_3 içermeyen kontrol grubu larvaları kullanıldı. Deney sonuçları incelendiğinde ara dozlarda (Özellikle 500 ppm) DNA hasarında anlamlı artışlar gözlendi. En yüksek dozda ise hasarın azaldığını veya değişmediğini görüldü. Aynı zamanda sonuçlarımız Al_2O_3 nanopartiküllerinin *G. mellonella* üzerinde belirli dozlarda genotoksik etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Literatür de bu durumun hücre ölümü veya DNA onarımı ile ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Bu etkilerin doza, etki süresine ve organizmaya özgü özelliklere bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmamız etik, ekonomik ve güvenilir bir *in vivo* model olarak *G. mellonella*'nın nanogenotoksisite araştırmaları için uygunluğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler:
Alüminyum oksit, Comet assay, Nanopartikül, *Galleria mellonella,* Genotoksisite,

DEVELOPMENT OF A NEW MICROBIAL BIOSENSOR BASED ON *P.PUTIDA* MODIFIED WITH PANI-GLUTARALDEHYDE-CYSTEAMINE-GOLD NANOPARTICLE-3-MPA FOR DETERMINATION OF CAFFEINE

Master of Science (MSc), Bahar NORGAZ [1]

Ege University, Faculty of Science, Department of Biochemistry [1]

baharnorgaz@gmail.com – 0009-0009-9019-3582

Prof. Dr. Guven OZDEMIR [2]

Ege University, Faculty of Science, Department of Biology [2]

guven.ozdemir@ege.edu.tr – 0000-0002-7577-4233

Prof. Dr. Erol AKYILMAZ [1]

Ege University, Faculty of Science, Department of Biochemistry [1]

erol.akyilmaz@ege.edu.tr –0000-0003-4108-2738

ABSTRACT

The aim of this study is to develop a new nanobiotechnological microbial biosensor system based on *P.putida* for selective, accurate, rapid and specific determination of caffeine. For this purpose, the gold electrode surface was modified with polyaniline (PANI), glutaraldehyde (GA), Cysteamine (Cys), gold nanoparticles (AuNP) and 3-Mercaptopropionic acid, respectively. After *P.putida* immobilization on the modified surface, a new microbial biosensor system was created as AuE/PANI/GA/Cys/AuNP/3-MPA/*P.putida.*

Measurements were taken with the differential pulse voltammetry (DPV) method in the potential range of (-0.2) & (+0.35) V and in 50 mM; pH 5.5 sodium acetate buffer (containing 5 mM $K_4[Fe(CN)_6]$ + KCl). Caffeine determination was carried out with the help of standard graphs drawn between different concentrations of caffeine in the working potential range and the current differences occurring at these concentrations. Studies were carried out for the optimization of the bioactive layer and working conditions of the newly developed microbial biosensor. First, parameters such as cycle number, cysteamine concentration, AuNP size and 3-MPA concentration were optimized for the formation of PANI used for the formation of the bioactive layer. Then, pH and temperature optimizations were carried out for the optimization of the working environment. After the optimization phase of the microbial biosensor was completed, characterization studies were carried out.

For this purpose, Parameters such as CV characterization, scanning speed, linear determination range, reproducibility, substrate specificity, interference effect, storage stability were determined and in the last stage, caffeine determinations were made in real samples with the developed microbial biosensor. The linear determination range for the determination of caffeine was determined as 1-10 µM. As a result of repeatability studies, with 5 measurements taken for 5 µM caffeine concentration (n=5), the mean value ($\bar{x}$) = 4.95 µM, standard deviation (S.D.) = ± 0.23 µM and coefficient of variation % (C.V. %) = 4.70% were calculated.

Anahtar Kelimeler: Microbial biosensor, Caffeine, Nanobiotechnology, *P.putida*

ARALIKLI ORUÇ TUTMAYA BAĞLI KOLON DOKUSUNUN APOPTOTİK MOLEKÜLER YANITLARI

Dr. Öğretim Üyesi. Hüseyin Allahverdi

Muş Alparslan Üniversitesi/ Moleküler Biyoloji ve Genetik

h.allahverdi@alparslan.edu.tr- 0000-0001-7192-6669

Araştırmaçı Vesila Yıldırım

Muş Alparslan Üniversitesi/Biyoloji Ana Bilim Dalı

vesilayildirim771@gmail.com - 0009-0007-7900-8791

Araştırmaçı Sevcan Kabayer

Muş Alparslan Üniversitesi/Biyoloji Ana Bilim Dalı

kabayersevcan@gmail.com- 0009-0006-8826-6787

Doç. Dr. Taha Ceylani

Muş Alparslan Üniversitesi/ Gıda İşleme

t.ceylani@alparslan.edu.tr- 0000-0002-3041-6010

Doç. Dr. Hikmet Taner Teker

Ankara Medipol Üniversitesi/ Tıbbi Biyoloji ve Genetik

h.tanerteker@gmail.com- 0000-0002-6621-3071

ÖZET

Aralıklı oruç, 16–24 saatlik açlık periyotlarıyla uygulanan, otofajiyi aktive ederek oksidatif stres ve inflamasyonu azaltan, metabolik sağlığı destekleyen bir beslenme yaklaşımıdır. Apoptoz ise, doku homeostazının korunması ve hasarlı hücrelerin inflamasyona yol açmadan ortadan kaldırılması açısından kritik öneme sahip, programlanmış bir hücre ölümü mekanizmasıdır. Çalışmalar, aralıklı orucun otofajiyi aktive etmesinin yanı sıra apoptoz sürecini destekleyerek hasarlı veya işlevini yitirmiş hücrelerin kontrollü biçimde ortadan

kaldırılmasına katkı sağladığını; bu mekanizmanın doku bütünlüğünün korunması ve hücresel homeostaz açısından yararlı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, aralıklı oruç uygulamasının kolon dokusunda apoptoz ile ilişkili genler üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır.

Çalışmada, 12 aylık erkek Sprague-Dawley sıçanları kullanılmıştır. 12 aylık erkek Sprague-Dawley sıçanları, günde 18 saat oruç tutmaları sağlanmıştır. Uygulama sonucunda kolon dokularından elde edilen örneklerde belirli apoptoz genlerinin ekspresyon seviyeleri analiz edilmiştir.

Elde edilen ön bulgular, aralıklı oruç uygulamasının kolon dokusunda apoptoz mekanizmalarını aktive ederek hücresel homeostazın korunmasında tamamlayıcı bir etki oluşturabileceğini ve doku bütünlüğünün sürdürülmesine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, aralıklı orucun kolon dokusunda apoptozla ilişkili süreçler üzerindeki uzun vadeli etkilerinin aydınlatılabilmesi için moleküler ve biyokimyasal analizlerle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Aralıklı Oruç, Apoptoz, kolon dokusu

APOPTOSİS-RELATED MOLECULAR RESPONSES OF COLON TİSSUE TO INTERMİTTENT FASTİNG

Intermittent fasting is a dietary approach involving 16–24 hour fasting periods that activates autophagy, reduces oxidative stress and inflammation, and supports metabolic health. Apoptosis, on the other hand, is a programmed cell death mechanism that is critical for maintaining tissue homeostasis and eliminating damaged cells without causing inflammation. Studies show that intermittent fasting, in addition to activating autophagy, supports the apoptosis process, contributing to the controlled elimination of damaged or dysfunctional cells; this mechanism is beneficial for maintaining tissue integrity and cellular homeostasis. This study aimed to investigate the effects of intermittent fasting on apoptosis-related genes in colon tissue.

In this study, 12-month-old male Sprague-Dawley rats were used. These rats were subjected to an 18-hour daily fast. The expression levels of specific apoptosis genes were analyzed in samples obtained from colon tissues following the fast.

Preliminary findings suggest that intermittent fasting may have a complementary effect on maintaining cellular homeostasis and contributing to tissue integrity by activating apoptosis mechanisms in colon tissue. This study indicates that further molecular and biochemical analyses are needed to elucidate the long-term effects of intermittent fasting on apoptosis-related processes in colon tissue.

Key Words : Intermittent Fasting, Apoptosis, colon tissue

SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİNDE YER ALAN RİSKLERİN L TİPİ RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZ METODU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA[1]

Sılanur KÖSE
Siirt Üniversitesi Lisans Öğrencisi
silanurkose1@gmail.com
0009-0005-8854-919X

Öğr. Gör. İsmail AKŞİT
Kafkas Üniversitesi Sarıkamış Meslek Yüksekokulu İSG Programı
ismailaksit.isak@gmail.com
0000-0003-4753-8505

ÖZET

Çalışma, L tipi (5*5 matrisi) Risk Değerlendirme Yöntemi kullanılarak, sağlık bilimleri fakültesinin faaliyet alanları ve potansiyel tehlikelerinin tanımlanması, risklerin analizi ve değerlendirilmesi, kontrol önceliklerinin saptanması amacıyla hazırlanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği (İSG), dinamik bir bilim dalıdır ve birçok unsuru barındırmaktadır. L-Tipi matris (5x5) yöntemi, risklerin tanımlanıp puanlandığı, sebep-sonuç ilişkilerinin incelendiği ve uygulanabilirliği kolay olan bir risk değerlendirme tekniğidir. Bir üniversitenin Sağlık Bilimleri Fakültesi içerisinde yapılan bu çalışma, araştırmaya özgü bir değer kazandırmaktadır. Analiz aşamasında kullanılan risk unsurları bu yöntem vasıtasıyla puanlanarak sınıflandırılmıştır. Yılda birçok iş kazası ve meslek hastalığından kaynaklanan ölümler, yaralanmalar ve sağlık sorunları, iş sağlığı ve güvenliğinin önemini gözler önüne sermektedir. Kullanılan yöntem, L tipi 5*5 matrisi Risk Değerlendirme tekniğidir. Bu yöntem, hem nicel hem de nitel veri toplama yöntemlerini içermektedir. Ortaya çıkma ihtimali belirli olan ancak ne zaman, nasıl ve hangi şekilde gerçekleşeceği tahmin edilemeyen durumlar, risk olarak tanımlanmaktadır. Risk değerlendirmesinin temel amacı, işletmenin hedeflerine ulaşmasını engelleyen faktörleri ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek, alınacak tedbirleri belirlemek ve bunları uygulamaktır. L tipi matris yönteminde "Risk= Şiddet x Olasılık" formülü aracılığıyla risk puanları hesaplanmaktadır. Risk değeri, olasılık ile şiddetin birleşimi üzerinden hesaplanmaktadır. Elde edilen bu birleşim neticesinde belirlenen risk puanları sıralanarak çalışmada riskler şekillendirilmiştir. Ortaya çıkan puanların ışığında fakülte için kapsamlı öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: L tipi 5*5 Matris Risk Değerlendirme Metodu, Şiddet, Risk, Tehlike, Olasılık.

[1] "Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenen 1919B012400014 / TBTK-0160-4781 numaralı proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın içeriği TÜBİTAK'ın görüşlerini yansıtmamaktadır. Yani çalışmanın içeriği, sonuçları, yorumları tamamen araştırmacılara aittir."

*Bu çalışma kapsamında içerik geliştirme, metin düzenleme, dil bilgisi kontrolü, literatür taraması yönlendirmesi veya benzeri akademik süreçlerde yapay zekâ tabanlı araçlardan yararlanıldığını ve yapay zekâ araçlarının yalnızca destekleyici nitelikte kullanılmış olduğunu, çalışmanın bilimsel sorumluluğu, üretilen içeriklerin doğruluğu, özgünlüğü, etik uygunluğu ve akademik standartlara uygunluğu tamamen tarafımıza ait olduğunu beyan ederiz.

1. GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) risk analizi, sağlık bilimleri fakülteleri gibi değişken ve çok sayıda disiplini içeren akademik alanlarda, potansiyel tehlikelerin önceden tanımlanması, incelenmesi ve azaltılması açısından önemli bir sürece sahip olan uygulamadır. (Dehdashti ve diğerleri, 2020). İSG alanında kullanılan birçok risk değerlendirme yöntemi vardır. Bu yöntemlerden biri olan L tipi matris yöntemi, risklerin hem sayısal hem de niteliksel değerlendirilmesinde sunduğu düzenli yaklaşım sayesinde tehlikeli durumların ve eylemlerin belirlenmesi ile skorlara önceliklendirme imkânı tanımaktadır (Doğan ve ark., 2023). Bu yöntem, özellikle üniversite laboratuvarları gibi sürekli yeni malzemelerin kullanıldığı ve kimyasal maruziyet süreleri ile yoğunluklarının değişiklik gösterdiği ortamlar için büyük önem taşımaktadır (Usanmaz ve Köse, 2020).

Sağlık bilimleri fakültelerinde, kimyasalların yanı sıra biyolojik ajanlar, radyasyon kaynakları, keskin aletler ve ergonomik risk faktörleri gibi farklı tehlike kaynakları mevcuttur (Özdemir ve ark., 2017). Bu tehlike kaynaklarının çeşitliliği, risk değerlendirme sürecinin karmaşıklığını artırmakta ve kapsamlı bir yaklaşım gerektirmektedir (Calixto ve Michaloski, 2025). Bu nedenle, sağlık bilimleri fakültelerinde kimyasal risklerle birlikte fiziksel, psikososyal, biyolojik ve ergonomik gibi tüm risk faktörlerinin entegre bir biçimde ele alınması zorunludur (Fatemi ve ark., 2022). Bu gibi kurum ve kuruluşlarda İSG uygulamalarının genellikle yetersiz kaldığı ve sektörlere göre spesifik risk değerlendirme yöntemlerinin tam olarak uygulanmadığı görülmektedir. Mevcut risk değerlendirme yöntemleri, sağlık alanına özgü zorluklar karşısında etkili olmayabilmekte ve daha gelişmiş metodolojilere gereksinim duyulduğunu göstermektedir (Boyacı ve Selim, 2022). L tipi risk değerlendirme (5*5) matrisinin uygulanması, risklerin olasılık ve etki unsurlarını sistematik bir şekilde ele alarak sağlık bilimleri fakültelerine özgü karmaşık risk profillerinin daha etkin yönetilmesini sağlamaktadır (Gül ve Ak, 2018). L tipi matrisler, bir tehlikenin kaynaklık etmiş olduğu risk seviyesini, muhtemel verim kaybı ve gerçekleşme olasılığını göz önünde bulundurarak belirlemek için İSG alanında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Risk değerlendirme matrisleri, genellikle bir tehlikenin olası zararının şiddetinin ve gerçekleşme ihtimalinin sıralı kategoriler için satır ve sütun kullanarak yapılandırılmaktadır. Bu matris temelli yöntem, risklerin olasılığını ve şiddetini düzenli bir şekilde değerlendirerek sağlık ve güvenlik risklerinin etkin bir biçimde ele alınmasını sağlar. Genellikle tehlikenin etkisi ve gerçekleşme olasılığını değerlendirmek için kullanılan terimlerle isimlendirilmiş sütun ve satırlara sahip olması skorların derecelendirilmesinde kolaylık sağlamaktadır. L tipi risk değerlendirme metodolojisinde, risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde olasılık ve şiddet kavramlarını kullanarak her bir riskin potansiyel etkisini ve ortaya çıkma sıklığını bilimsel bir temelle analiz etme imkânı sunmaktadır (Jensen ve ark., 2022). Bu nedenle, L tipi matrisin uygulanması, risk değerlendirme sürecini kolaylaştırarak özellikle sınırlı kaynaklara sahip küçük ve orta ölçekli işletmeler veya üniversitelerde yer alan farklı uygulamalara sahip bölümler için ulaşılabilir ve uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır (Tenkate ve ark., 2024). Bu risk değerlendirme yöntemi, tehlikelerin yalnızca anlık sonuçlarını değil, aynı zamanda uzun vadeli etkilerini de göz önüne alarak iş güvenliği uzmanlarına daha bütünsel bir perspektif sağlamaktadır (Ji ve ark., 2021).

L tipi matrisin sağlık bilimleri fakülteleri kapsamında kullanılması, tehlikeleri detaylı bir şekilde tanımaya, riskleri değerlendirmeye ve uygun önlem stratejileri geliştirmeye yarayan yarı/semi nicel bir yöntemdir (Chalak ve ark., 2021; Arrafat, 2021). Bir tehlikenin verebileceği zararın boyutunu (şiddetini) ve bu zararın ortaya çıkma olasılığını (ihtimalini) sayısal ya da tanımlayıcı ölçekte bir araya getirerek risk düzeylerini belirlemektedir (Taibi ve ark., 2022). Yetkililer belirlenen potansiyel riskleri değerlendirirken yalnızca nicel verileri değil, aynı zamanda nitel değerlendirmeleri de göz önünde bulundurarak, riskin olasılığı ve şiddetini birleştiren bütüncül bu yaklaşımı farklı bir bakış açısı ile ele alabilir. Üniversitelerin farklı bölümlerinde yapılan risk değerlendirme yöntemleri arasında nicel ve nitel yöntemlerin bir araya getirilmesi ile detaylı bir risk profili oluşturulmasına imkân tanımaktadır (Aetdinova ve ark., 2020). FMEA gibi sayısal risk değerlendirme metodları ile entegrasyon sağlayarak, olası hata kaynaklarının detaylı bir incelemesini ve önleyici önlemlerin tasarlanmasını mümkün kılmaktadır (Cardiel-Ortega ve Serrato, 2023). Bu entegrasyon işlemleri sayesinde, risklerin olasılık ve şiddet açısından kapsamlı bir şekilde incelenmesini sağlayarak sağlık bilimleri fakültelerinde daha sağlam bir risk yönetiminin oluşturulmasına zemin hazırlamaktadır (Memon ve ark., 2021). Özellikle sağlık hizmetlerinin sunumundaki risk değerlendirmesi ve güvenilirliğin öneminin giderek artırdığı günümüzde, sağlık bilimleri fakültelerinde eğitim ve araştırma alanlarında karşılaşacakları potansiyel tehditleri önceden tespit ederek proaktif adımlar atmaları amacıyla gerçekleştirilen bu araştırma, L tipi matrisin uygulanmasını önererek klinik ve laboratuvar çevrelerinde potansiyel tehlikelerin proaktif bir şekilde tanımlanmasına, sınıflandırılmasına ve risk seviyelerinin objektif ölçütlere dayanarak atanmasına yardımcı olan stratejik bir risk yönetim aracı sunmaktadır (Kolagar ve ark. , 2020; Herzer ve ark. , 2009). Bu proaktif yaklaşım, eğitim ve araştırma faaliyetlerinin güvenli bir şekilde yürütülmesi için gerekli önlemlerin alınmasını kolaylaştırırken, uluslararası sağlık ve güvenlik standartlarına uyumu da desteklemektedir. L tipi matrisler kritik olay yönetimi senaryolarının tasarlanmasında ve acil durum planlarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynayarak beklenmeyen durumlara karşı üniversitelerin dayanıklılığını artırabilir (Bashkansky ve Dror, 2015). L tipi matrisler, üniversitelerde veya sağlık kuruluşlarında risk yönetim yeteneklerini artırmanın yanı sıra yetkililerin örgütsel başarıyı sürdürmek için stratejik kararlar almasını da kolaylaştırmaktadır (Foster., 2004).

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

L tipi matris ile ilgili gerçekleştirilen akademik araştırmalar ve pratik uygulamalar, özellikle sağlık bilimleri alanında İSG risk değerlendirme işlemlerinin standart hale getirilmesi ve etkinliğinin artırılması açısından son derece önemlidir. Matrisin uygulama kolaylığı, detaylı risk profili oluşturma kabiliyeti ve çeşitli sektör alanlarına uyum sağlama imkanını göstermektedir. Bu yüzden literatür taraması kapsamında çeşitli sektörlerde kullanılan L tipi risk değerlendirme matrisinin kullanıldığı bazı uygulamalar hakkında bu araştırma kapsamında bilgi verilmektedir.

Başar ve Ceylan (2020) çalışmalarında Olivin ocağındaki tehlike ve riskleri L Tipi Matris yöntemi ile incelemişlerdir. Belirlenen tehlikeler arasında, çalışanlara eğitim verilmemesi, ocak alanında kişisel koruyucu ekipman kullanılmaması, eski cihazlarla çalışılması, çalışma sırasında gürültü, toz ve titreşim oluşması ve sahaya dışarıdan kişilerin girmesi yer almaktadır.

Riskler ise iş kazaları, meslek hastalıkları, yaralanmalar, sakatlıklar, maddi kayıplar ve işlerin aksamaları gibi hususlardan oluşmaktadır. Kabul edilebilir sınırların üzerinde kalan riskler, titreşim, gürültü ve toz ölçümünün yapılmaması ile kişisel koruyucu donanımların koruma seviyelerinin belirlenememesi olduğu bulgusunu elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere dayanarak, ocak alanında görev alan çalışanların iş sağlığı ve güvenliği konularında eğitilmeleri ve bozulmuş iş makineleri parçalarının değiştirilmesi için yedek parça temini üzerine işverenin talimat vermesi gibi önlemlerin alınması önerilmektedir.

Koltan ve ark., (2010) finans, sigorta, sanayi gibi çeşitli alanlarda risk analizi için kullanılan L Tipi karar matrisi tekniği ile iş kazaları ve meslek hastalıkları yönüyle teorik olarak ele alınmıştır. Yapılan araştırma kapsamında, L Tipi karar matrisi yöntemin çalışan sağlığı alanında uygulanmasının potansiyel sorunlarına vurgu yapılmıştır.

Yemişçioğlu ve Şimşek (2023) binaların yangınlardan korunması, kullanıcıların güvenli bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmeleri ve bina yaşam sürecinde ortaya çıkabilecek yangın tehlikelerini en aza indirmek açısından kritik bir konuyu ele almışlardır. Tüm binalarda gerekli analizlerin yapılması ve yangın güvenliği önlemlerinin uygulanması esas tutulmuştur. Bu noktada, öğrenci yurtları da yangın riski açısından alınması gereken çeşitli tedbirler ile dikkat gerektiren yapılardan olduğuna değinilmiştir. Geçmişte birçok öğrenci yurdunun yanması sonucu can kaybı, yaralanmalar ve maddi zarar gibi istenmeyen olayların meydana geldiği kaydedilmiştir. Çalışmada amaç bir öğrenci yurdu binasındaki yangın kapılarının yangın riskini L tipi matris yöntemi aracılığıyla incelemektir. Araştırmalarında, davranışsal ve yapısal tehlike grupları belirlenmiş ve olası riskler tespit edilmiştir. Sonrasında, bu risklere olasılık ve şiddet değerleri verilerek risk seviyeleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre, olası risklerin yüzde 33'ü yüksek, yüzde 48'i orta ve yüzde 19'u düşük risk seviyesi bulguları elde edilmiş olup bu elde edilen bulgular çerçevesinde çeşitli önerilerde bulunulmaktadır.

Selçuk ve Selim (2018) çalışmalarında, mücevher sektörü için uygulanan risk değerlendirme yöntemleri hakkında araştırma yapmışlardır. Araştırmalarında risk değerlendirme metotlarından L tipi matris yöntemini kullanmışlardır. Araştırmalarında, ülkemizdeki mücevher sektöründe risk analizleri ile iş kazalarının önlenmesi ya da en az zararla atlatılmasını amaçlamışlardır. Küresel mücevher sektörü ile ilgili istatistikler üzerinde araştırmalar yürütülmüştür. Atölyede çalışanlar, önlemlerin belirlenmesi sırasında elde edilen bilgilerin önemine değinilmiş ve gerçekleştirilmesi gereken uygulamaları İSG perspektifinden literatürle desteklenerek önerilerde bulunulmuştur.

Lafçı ve Öztekin (2020) Ülkemizde Arama Kurtarma (A/K) kapsamında kullanılan gemilerde gerçekleştirilen hassas işlemler arasında; dışarıdan yangın söndürme, tıbbi tahliye, düzensiz göçmen olaylarına müdahale, kaybolan ya da sürüklenen botlara müdahale ve denizden insan kurtarma faaliyetlerindeki riskler, kontrol listesi yöntemiyle tespit edilmiş ve bu tehlikeleri önlemek için gerekli olan temel iş güvenliği önlemleri belirlenmiştir. Hassas faaliyetlerde ortak iş güvenliği önlemleri olarak; faaliyetle ilgili kişisel koruma ekipmanlarının çalışanlar tarafından kullanılması, A/K gemisinde işlemler sırasında geminin batmasını ve su almasını engellemek amacıyla dışa açılan kapak ve lombozların kapatılması, dış güvertede kaygan veya ıslak zeminle çalışılmasından dolayı emniyet halatlarının, kaydırmaz tabanlı

ayakkabıların ve can yeleklerinin giyilmesi, ayrıca kullanılan malzeme, yedekleme ekipmanları, kurtarma ağları gibi donanımların düzenli bakımlarının yapılması ve çalışır durumda tutulmasına vurgu yapılmıştır. Araştırmada risk analizi için L tipi matris yöntemi seçilmiştir. Kaybolan ya da sürüklenen tekneye müdahaleye ilişkin yapılan risk analizi sonucunda; en yüksek risk skoru 25 ile halatın kopması tehlikesinde, en düşük risk skoru ise 3 ile üşüme tehlikesinde tespit edilmiştir. Sonuç olarak, tehlikeli meslek gruplarını kendi içinde barındıran denizcilik sektöründeki tüm gemiler için risk değerlendirmelerin yapılması ve sonrasında alınacak önlemlerin zamanında belirlenmesi önerilmiştir.

Dinçer ve Erol (2024) çalışmalarında canlıların en temel ihtiyacı olan suyun günümüzde kullanılmaz durumda olduğu ve atıksu arıtma tesislerinde belirli işlemler aracılığıyla yeniden kullanılabilir hale getirilmesi hususu ele alınmıştır. Bu tesisler, İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği'ne göre çok tehlikeli bir kategoriye girmektedir. Gerekli tedbirler alınmadığı takdirde burada ciddi iş kazalarının yaşanabileceğine değinilmiştir. Ayrıca, çalışanlar arasında çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkabileceği hususu değerlendirilmiştir. Çalışanlara güvenli bir çalışma ortamı sağlamak için öncelikle tesislerdeki tehlikeler ve riskler tespit edilmeli, ardından risk analizinin gerçekleştirilmesi hususunda önerilerde bulunulmuştur. Adana ASKİ Seyhan Atıksu Arıtma tesisindeki tehlikeler ve riskler, hem sağlık hem de güvenlik açısından incelenmiş olup çalışma alanlarının ve ekipmanların güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla L tipi matris yöntemi kullanılarak bir risk analizi yapılmıştır. Tesiste belirlenen yüksek riskler arasında yangın, elektrik çarpması, iş kazası, havuza düşme, zehirlenme ve metan gazı patlaması gibi risklerin bulgusuna erişilmiştir. Çürütücü tanklar, tesisin genel alanı, atölyeler, trafo binası, gaz desülfürizasyon ünitesi, gaz jeneratörü ve boyler ünitesi, yüksek risk barındıran bölümler ve ekipmanlar olarak sınıflandırılmıştır. Bazı düzeltici ve önleyici işlemlerle birlikte, tesis içinde tespit edilen yüksek riskler ve orta düzey riskler, düşük seviyelerdeki risklere dönüştürülerek gerekli tavsiyelerde bulunulmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

Araştırma, bir üniversitenin sağlık bilimleri fakültesi çatısı altında sürdürülen farklı faaliyetlerin bulunduğu alanlardaki tehlikelerden kaynaklı risklerin değerlendirilmesi çerçevesinde yürütülmüştür. Değerlendirmelerde L tipi risk değerlendirme metodu kullanılmıştır. L tipi matrisin sağlık bilimleri fakültelerine uygulanması, risk değerlendirme ekibine hem tehlikeleri önleyici bir biçimde belirleme hem de sürekli gelişim sistemleri kurma açısından bilimsel bir temel sorumluluk sunmaktadır. Risk analizlerinin entegre yaklaşımı kapsamında risk analizini yapan ekibin potansiyel tehditleri tahmin etmesini, değerlendirmesini ve etkilerini azaltmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda çalışanların sağlık ve güvenliğine önem veren bir kültürün gelişimine yardımcı olmaktadır. L tipi matrisin İSG risk değerlendirme süreçlerine entegrasyonu tehlikelerin sistematik olarak tanımlanmasını, analiz edilmesini ve yönetilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu kapsamda ilgili fakültenin bağlı bulunduğu İSG koordinatörlüğü ile iş birliği çerçevesinde saha araştırmaları yapılmıştır. Özellikle sağlık bilimleri fakülteleri gibi karmaşık ve çok yönlü risk profillerine sahip ortamlarda, risklerin önceliklendirilmesi ve etkili kontrol tedbirlerinin belirlenmesi için kapsamlı ve sistematik bir değerlendirmenin yapılması büyük bir önem arz etmektedir. Bu özelliğinden dolayı araştırmada L tipi risk değerlendirme matrisi kullanılmıştır. L tipi risk değerlendirme metodu aşağıda yer

alan tablo bilgileri doğrultusunda yürütülmektedir. Risk değerlendirme kriterleri olan olasılık ve şiddet hususlarında tablo 1 ve 2' de nitel terimler nicel olarak derecelendirilmiştir.

Tablo 1. Olasılık Tablosu

OLASILIK	ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI İÇİN DERECELENDİRME BASAMAKLARI
ÇOK AZ (1)	Hemen hemen hiç
AZ (2)	Çok az (yılda bir kez), sadece anormal durumlarda
ORTA (3)	Az (yılda birkaç kez)
YÜKSEK (4)	Sıklıkla (ayda bir)
ÇOK YÜKSEK (5)	Çok sıklıkla (haftada bir, her gün), normal çalışma şartlarında

Şiddet boyutu da en az olasılık boyutu kadar risk skorlarının belirlenmesinde önem arz etmektedir. Yapılan Skorlama işlemlerinde risk değerlendirme ekibinin deneyimi, ilgisi, önem derecesi gibi birçok kriter etkilidir. Bu kriterler de olasılık ve şiddet skorlarının tahmin sürecinde öznel bir sonuç verirken, risk skorlarının kategorize edilmesinde objektif sonuçlar verebildiği söylenebilir. Şiddet skorlarının derecelendirilmesinde tablo 2'de yer alan nitel terimler nicel olarak kategorize edilmesi sonucunda elde edilmiştir.

Tablo 2. Şiddet Tablosu

ŞİDDET	ŞİDDETİN DERECELENDİRME BASAMAKLARI
ÇOK HAFİF (1)	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektirmeyen
HAFİF (2)	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi ilk yardım gerektiren
ORTA (3)	Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerekir
CİDDİ (4)	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
ÇOK CİDDİ (5)	Ölüm, sürekli iş göremezlik

Olasılık ve şiddet kriterlerinin derecelendirilmesinden sonra bu iki kriterin çarpımı sonucu elde edilen risk skoru kategorize edilmiştir. Derecelendirmenin önemi skorların sıralanmasında ve tedbirlerin alınması sürecinde kolaylık sağlamaktadır. Bu skorların kategorize edilmesi tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Risk Puanları Tablosu

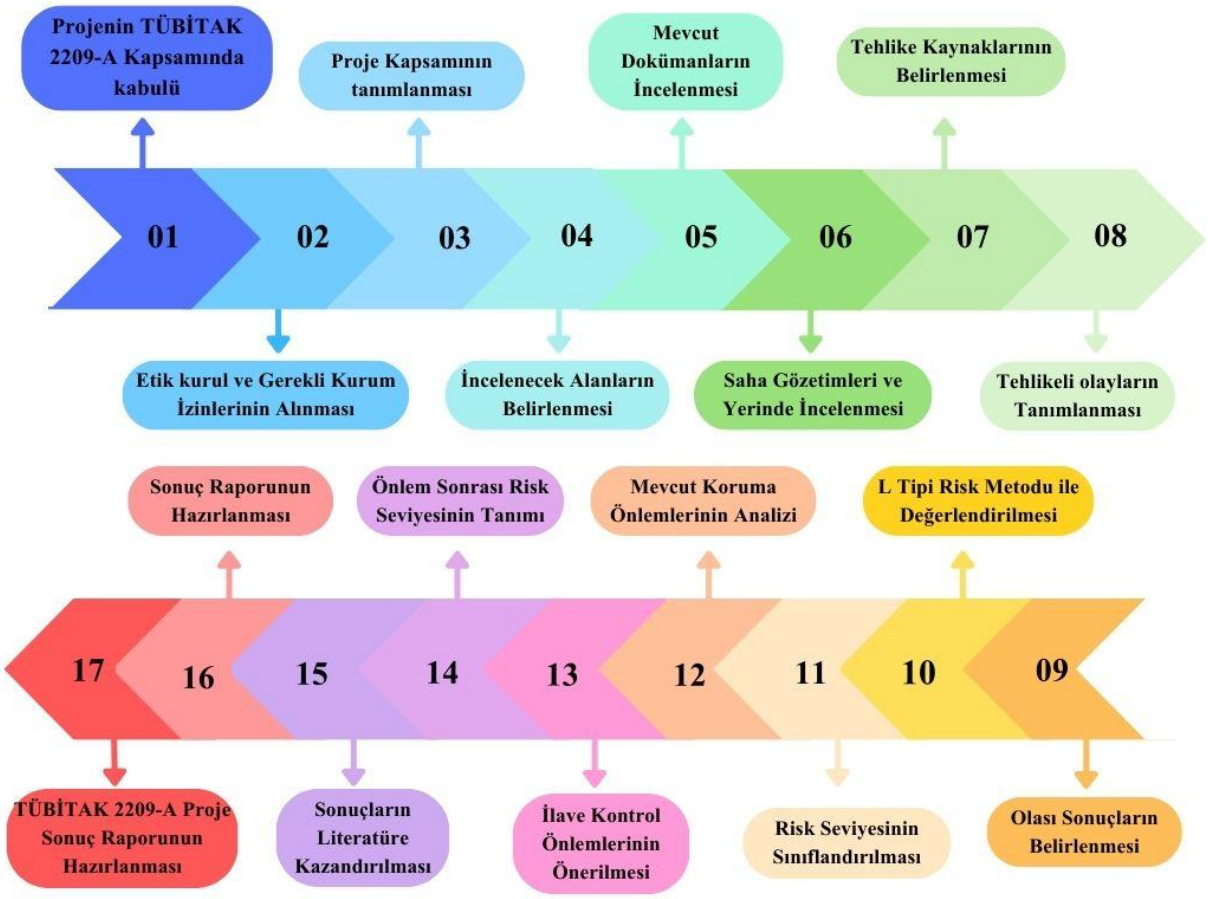
LOGO	OLUŞABİLECEK ZARARIN ŞİDDETİ				
OLASILIK	1 ÇOK HAFİF	2 HAFİF	3 ORTA	4 CİDDİ	5 ÇOK CİDDİ
1 ÇOK AZ	1 ÇOK DÜŞÜK	2 ÇOK DÜŞÜK	3 DÜŞÜK Kabul Edilebilir Risk)	4 DÜŞÜK (Kabul Edilebilir Risk)	5 DÜŞÜK (Kabul Edilebilir Risk)
2 AZ	2 ÇOK DÜŞÜK	4 DÜŞÜK (Kabul Edilebilir Risk)	6 DÜŞÜK (Kabul Edilebilir Risk)	8 ORTA	10 ORTA
3 ORTA	3 DÜŞÜK (Kabul Edilebilir Risk)	6 DÜŞÜK (Kabul Edilebilir Risk)	9 ORTA	12 ORTA	15 YÜKSEK (Önemli Riskler)
4 YÜKSEK	4 DÜŞÜK (Kabul Edilebilir Risk)	8 ORTA	12 ORTA	16 YÜKSEK (Önemli Riskler)	20 YÜKSEK (Önemli Riskler)
5 ÇOK YÜKSEK	5 DÜŞÜK (Kabul Edilebilir Risk)	10 ORTA	15 YÜKSEK (Önemli Riskler)	20 YÜKSEK (Önemli Riskler)	25 KABUL EDİLEMEZ

L tipi matris yöntemi, İSG risklerini belirlemek, analiz etmek ve derecelendirmek için sistematik bir çözüm önerir. Bu yöntem, potansiyel tehlikelerin ne sıklıkla karşılaşıldığı ile bu tehlikelerin meydana gelmesi halinde ortaya çıkabilecek sonuçların şiddetini bir matris aracılığıyla eşleştirerek risk seviyelerini nicel olarak belirlemeye olanak tanımaktadır. L tipi matris, genellikle risk düzeylerini düşükten yükseğe doğru sıralamak için olasılık ve şiddet eksenlerinde farklı derecelendirmeler kullanır. Bu sıralama, "çok düşük", "düşük", "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" gibi kategorilerle ifade edilir ve her kategoriye uygun risk limitleri ile önleyici tedbirler belirlenir. Bu yönüyle likert ölçek derecelendirmesine benzetilebilir. Özellikle karmaşık ve dinamik ortamlara sahip sağlık bilimleri fakültelerinde, karşılaşılabilecek çeşitli biyolojik, psikososyal, ergonomik, kimyasal ve fiziksel risklerin etkin bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayarak proaktif güvenlik önlemlerinin alınmasına imkân tanımaktadır. Tablo 3'de elde edilen skorların nitel olarak ifadeleri tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Risk Seviyelerinin Skorlanması ve Nitel Olarak Belirlenmesi

SONUÇ	EYLEM
Kabul Edilemez (25)	Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa, faaliyet engellenmelidir.
Önemli Riskler YÜKSEK (15,16,20)	Belirlenen risk azaltılıncaya kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk işin devam etmesi ile ilgiliyse acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır. Bu faaliyetler yapılacak plana göre gerçekleştirilmelidir.
Kabul Edilebilir Risk (3,4,5,6)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.
Çok Düşük Riskler (1,2)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kayıtlarını saklamaya gerek olmayabilir.

Bu metot risk değerlendirme sürecini standartlaştırarak, farklı departmanlar ve laboratuvarlar arasında tutarlı risk yönetimi uygulamalarının gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Kaynakların en önemli risk alanlarına yönlendirilmesini kolaylaştırmaktadır. Sağlık bilimleri fakültelerinde İSG alanında sürdürülebilir sonuçların elde edilmesine katkıda bulunur. Nitel yöntemlerle elde edilen veriler, risk algısını ve güvenlik kültürlerindeki etkileşimleri daha iyi anlamak için analitik bir temel sunar. Bu çerçevede, L tipi matrisin nicel verilerle nitel değerlendirmelerin birleşimi, sağlık bilimleri fakültelerinde İSG risk yönetimini çok disiplinli bir yaklaşımla güçlendirir. Böylece, sadece potansiyel tehditlerin tespit edilmesi değil, aynı zamanda bu tehditlerin kök nedenlerinin anlaşılması ve kalıcı çözümler geliştirilmesi mümkün hale gelir. Araştırma süreci şekil 1'de adım adım gösterilmiştir.



Şekil 1. Araştırmanın Süreç Adımları

4. BULGULAR

Çalışma çerçevesinde, bir olayın gerçekleşme ihtimali ile o olayın etkisi sonucunda ortaya çıkan şiddet düzeyi dikkate alınarak İSG risklerinin büyüklüğü tahmin edilmiştir. L tipi matrisin esnek yapısı sayesinde elde edilen puanlar, sağlık bilimleri fakültelerinde mevcut olan özel ve değişken risk profillerine uygun olarak, belli risk faktörlerine yönelik özel müdahale stratejileri geliştirme çalışmaları yürütülmüştür. L tipi matrisin sağlık bilimleri fakültelerinde uygulanması, tehlikelerin tanımlanması ve risk analiz süreçlerini standart hale getirerek, kurumsal güvenlik kültürünün gelişimine önemli katkı sağlamaktadır. Risk değerlendirme matrislerinin tasarımı, risk seviyelerini daha isabetli bir şekilde yansıtacak ve yetkililerin karar verme süreçlerinde daha etkin bir kılavuzluk yapacak şekilde kelime ve terim seçiminin uygun olmasını temin edecektir. Böylece risklerin etkin biçimde kategorize edilmesine ve risk yönetim süreçlerinin daha mantıklı hale getirilmesine olanak tanımaktadır. L tipi matris yönteminin diğer yaklaşımlardan ayrılan özelliği, riskin hem olasılığını hem de şiddetini sade ve anlaşılır bir şekilde görselleştirerek, çok sayıda risk faktörünün bulunduğu karmaşık ortamlarda hızlı bir önceliklendirme imkânı sunmasıdır. Bu metodoloji, özellikle sağlık bilimleri fakülteleri gibi dinamik ve biyolojik risklerin yüksek olduğu ortamlarda karar alıcılara, risk tolerans düzeylerine göre etkili kontrol önlemleri geliştirmeleri konusunda rehberlik etmektedir. Böylelikle biyogüvenlik risk yönetim sistemlerinin oluşturulması ve sürdürülmesi, laboratuvar faaliyetlerinin güvenliğini sağlamanın yanı sıra, üniversitelerdeki biyolojik araştırmaların toplumsal sağlık ve çevre üzerindeki olumlu etkilerini artırma potansiyelini taşır.

Saha gözetimi sonucu elde edilen toplam 120 adet risk tespit edilmiştir. Kullanılan risk değerlendirme metoduna ait kelime işlemci programının görseli şekil 2'de gösterilmiştir. Bu 120 adet risk skorundan, 12 tanesi kabul edilemez/katlanılamaz risk, 29 tanesi çok ciddi/önemli risk, 61 tanesi orta düzey risk, 8 tanesi katlanılabilir / kabul edilebilir risk ve 10 tanesi önemsiz risk olarak elde edilmiştir.

LOGO	..... ÜNİVERSİTESİ SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİ RİSK DEĞERLENDİRME FORMU						DEĞERLENDİRMENİN YAPILDIĞI TARİH GEÇERLİLİK TARİHİ									
RİSK	NO	TEHLİKE	TEHLİKE UNSURLARI	ETKİLENEN KİŞİLER	OLASI SONUÇ	MEVCUT KORUMA ÖNLEMLERİ	DERECELENDİRME TABLOSU				KONTROL TEDBİRLERİ	ÖNLEMLERİN ALINMASI DURUMUNDA			
							OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	RİSK SEVİYESİ	ÖNLEM	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	RİSK SEVİYESİ
	1		Panolarda Kaçak Akım Rölesi Kullanılmaması	Çalışma alanı,öğrenciler , öğretim görevlileri,çalışan personeller vb.	Elektrik çarpması,yangın riski	Kaçak akım koruma cihazlarının düzenli olarak kontrol edilmesi ve gerektiğinde yenilenmesi	4	5	20	Çok yüksek	Tüm elektrik panolarında kaçak akım rolesi bulunmalı ve çalışırlığı yetkili kişilerce test edilmelidir.			0	0
	2		Pano Kapaklarının Açık Bulunması	Çalışma alanı,öğrenciler , öğretim görevlileri,çalışan personeller vb.	Elektrik çarpması, toz ve nemin içeri girerek ekipmanların arızalanmasına neden olması.	Panoların kapalı tutulması, düzenli kontrol yapılması ve bakım yapılması.	3	5	20	Çok yüksek	Pano kapakları sürekli olarak kapalı tutulmalı yetkisiz kişilerin müdahalesi engellenmelidir.			0	0
	3		Panoların Önünde Yalıtkan Malzeme Olmaması ve panoda çalışma esnasında kişisel koruyucu donanım kullanılmaması	Çalışma alanı,öğrenciler , öğretim görevlileri,çalışan personeller vb.	Elektrik çarpması, yaralanmalar , ısı dengesinin bozulması.	Pano önünde yarıcı veya kalıcı malzeme bulundurmama ne panonun temiz tutulması	3	4	12	Orta	Panoya müdahelede bulunacak personelin herhangi bir kaçak durumunda elektrik çarpmasından korunması amacıyla yalıtkan bir malzeme üzerinde ve gerekli kişisel kroyucu donanım kullanarak müdahele etmesi sağlanmalıdır.			0	0
	4		Aşırı yüklü prizler veya çoklu piriz kullanımı	Çalışma alanı,öğrenciler , öğretim görevlileri,çalışan personeller vb.	Isınma, yangın riski,elektrik çarpması	Prizlerin aşırı yüklenmemesi, uygun kapasitede priz ve uzatma kablolarının kullanılması.	4	4	16	Yüksek	Etrafı kırık, elektrik bağlantıları açılmış prizler kesinlikle kullanılmamalıdır			0	0
	5		Elektrik kablo ve bağlantılarının uygun olmaması	Çalışma alanı,öğrenciler , öğretim görevlileri,çalışan personeller vb.	Kısa devre, aşırı ısınma, elektrik çarpma,yangın riski	Uygun tipte kabloların ve bağlantı elamanlarının kullanılması , kablo montajının standartlarının uygun olarak yapılması, düzenli kontrollerin gerçekleştirilmesi.	4	5	20	Çok yüksek	Yıpranmış, ezilmiş, ek yapılmış elektrik kablolarının kullanımı engellenmeli yetkili kişilerce yeni kablosuyla değiştirilmelidir.			0	0

Şekil 2. L Tipi Risk Değerlendirme Formu Örneği

Bu çalışmada kullanılan görselle benzer kelime işlemcilerin uygulanmasının yaygınlaştırılması ve farklı modellerde kullanılması da mümkündür. Sektörel düzeyde ve İSG profesyonellerinin sahip olduğu deneyime göre farklı risk değerlendirme metotlarıyla entegre edilmesi sonucunda daha objektif sonuçların elde edilmesi sağlanabilir.

5. TARTIŞMA

Sağlık bilimleri fakültelerinde iş sağlığı ve güvenliği risk yönetiminde L tipi matrisin etkin kullanımına yönelik kapsamlı bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir. L tipi matrisin en belirgin avantajlarından biri, tehlikelerin şiddeti ile gerçekleşme ihtimalini eşleştirerek risk seviyelerini basit ve görsel bir şekilde sınıflandırmasıdır. Bu durum, özellikle kimyasallarla sıkça çalışılan araştırma laboratuvarları gibi dinamik ortamlar için son derece önemlidir. L tipi matris metodun kolaylığı, karmaşık risk değerlendirmelerini basitleştirir ve farklı seviyelerdeki çalışanların riskleri hızla kavramasına yardımcı olur. Ayrıca, bu metot standart bir yaklaşım sunarak, farklı risk değerlendirme ekipleri arasında tutarlılık oluşturmaktadır ve olası tehlikelerin önceliklendirilmesine yardımcı olmaktadır. Yapay zekâ destekli sistemler, L tipi matrisin sunduğu risk önceliklendirme becerisini geliştirerek, öngörücü analizler, anlık izleme ve risk azaltma stratejileri sunarak kazaların ve tehlikelerin azaltılmasına katkı sağlar. Böylece, iş güvenliği yönetimi reaktif yaklaşımlardan proaktif yaklaşımlara geçiş yapmakta, bu da sanayi güvenlik protokollerinin genel etkinliğini artırmaktadır.

L tipi matris yönteminin dezavantajları ise, büyük ve karmaşık sistemlerde tüm olası tehlikeleri ve maruz kalma senaryolarını ayrıntılı bir şekilde ele alacak kadar esnek olmaması ve nicel verilere dayalı eksiklik devrinde sübjektif değerlendirmelere başvurmasıdır. Bu eksiklikler, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi gelişmiş analitik yöntemlerin entegrasyonu ile aşılabilir. Çünkü bu teknolojiler, geniş veri setlerinden kalıpları ve anormallikleri belirleyerek

daha nesnel ve detaylı risk değerlendirmeleri sunar. Bu entegrasyon, özellikle karmaşık sistemlerde dinamik risk tanımlamaları ve öngörüler için destekleyici araçlar geliştirilmesine yardımcı olurken, sürekli geri bildirimle riskleri güncelleyerek makine güvenliği uygulayıcılarını daha etkili müdahalelere hazırlar. Bu yöntem, özellikle iş yerindeki tehlikeleri sürekli takip ederek ve olası riskleri tahmin ederek, önleyici tedbirlerin daha etkin bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Ayrıca, yapay zekâ çalışanların tehlikeli hareketlerini ve nesnelerin güvenli olmayan durumlarını tespit ederek iş kazalarını önlemede önemli bir rol üstlenebilir. Bu tarz teknolojiler, geçmiş kaza verilerini, yakın zamanda meydana gelen olay raporlarını ve sensör verilerini analiz ederek gelecekteki riskleri tahmin edebilir ve böylece risk yönetim süreçlerini daha proaktif hale getirebilir. Bu gelişmeler, sağlık bilimleri fakültelerinde, özellikle laboratuvar ortamlarında, çalışanların güvenliğini sağlamak için sürekli öğrenen ve gelişen bir güvenlik sisteminin kurulmasına zemin hazırlar.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak bu analiz metodunun kullanım alanlarının yetersiz kaldığı ortamlar için farklı (HAZOP, FMEA, Fine-Kinney gibi) yöntemlerden yararlanılması önerilmektedir. Saha çalışmalarında dinamik değişkenlerden dolayı saha gözetimlerinin periyodik olarak yapılması önerilmektedir. Saha gözetimlerinde tüm çalışanların muhatap alınması ve bu hususta gerekli görülmesi durumunda risk değerlendirme ekip üyeleri tarafından ilgililerin iş başı konuşmaların dışında özel olarak eğitilmesi tavsiye edilmektedir. İSG kapsamında yapılan uygulamalarda kolaylıkların sağlanması ve mühendislik veya mimari kaynaklı hataların dışında zamanla meydana gelen deformasyonların ivedilikle bertaraf edilmesi için teknik ekiplerle iş birliği yapılması önerilir. Risk değerlendirme sonucunda elde edilen verilerin skor dereceleri esas alınarak yetkililer tarafından sorumluların belirlenmesi ve termin süreleri çerçevesinde eksikliklerin zamanında giderilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda geçici değil kalıcı çalışmalara yer verilmelidir. Risk değerlendirme sonucuna göre bütçelerin oluşturulması için saha sınırları içerisinde tüm alanlarda risk değerlendirme işlemlerinin tamamlanması ve her birimde sorumlu birisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sorumlular ile kolay ve hızlı iletişim kurulması esastır. Sahada tespiti yapılan ancak ekonomik olarak büyük külfetler oluşturabilecek olan eksikliklerin sayısı, türü, boyutu gibi hususlar birimsel bazda belirlenmeli ve ona göre bütçe ayrılmalıdır. Böylece sahada eksiklikler hızlıca giderilmiş ve bir bütün olarak eksiklikler ele alındığı için kurum veya kuruluşun ekonomik çerçevede tasarrufu sağlanmış olunacaktır. Bu yüzden kurumlarda özellikle bu hususların takibi ve kayıt işlemleri için bir yetkilinin belirlenmesi önerilir.

KAYNAKÇA

Aetdinova, R. R., Chorosova, O. M., & Maslova, I. (2020). Risk Assessment Methods of HEI. *Advances in Economics, Business and Management Research/Advances in Economics, Business and Management Research*. https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200312.378.

Arrafat, B. S. (2021). Analisis Safety Risk Management pada Kegiatan Praktikum Taruna Teknik Pesawat Udara di Politeknik Penerbangan Indonesia. *Langit Biru Jurnal Ilmiah Aviasi*, *14*(1), 77. https://doi.org/10.54147/langitbiru.v14i01.409.

Bashkansky, E., & Dror, S. (2015). Matrix Approach to Analysis of Human Errors and their Prevention by Quality Engineering and Managerial Tools. *Quality and Reliability Engineering International*, *32*(2), 535. https://doi.org/10.1002/qre.1770.

Başar, O., & Ceylan, H. (2020). Tavas Bahçeköy olivin üretim tesisinde iş güvenliği risk analizi. Teknik Bilimler Dergisi, 10(1), 9-15.

Boyacı, A. Ç., & Selim, A. (2022). Assessment of occupational health and safety risks in a Turkish public hospital using a two-stage hesitant fuzzy linguistic approach. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(24), 36313. https://doi.org/10.1007/s11356-021-18191-x.

Calixto, B. S. de A., & Michaloski, A. O. (2025). Assessment of Occupational Risk Using Multi-Criteria Fuzzy AHP Methodology in a University Laboratory. *Sustainability*, *17*(6), 2715. https://doi.org/10.3390/su17062715

Cardiel-Ortega, J. J., & Serrato, R. B. (2023). Failure Mode and Effect Analysis with a Fuzzy Logic Approach. *Systems*, *11*(7), 348. https://doi.org/10.3390/systems11070348.

Chalak, M. H., Bahramiazar, G., Rasaee, J., Fahimi, R., Anbardan, A. N., Jafari, H., & Nasab, F. R. (2021). Occupational health risk assessment at healthcare institutions: Developing a semi-quantitative risk method. *International Journal of Risk & Safety in Medicine*, *32*(4), 265. https://doi.org/10.3233/jrs-200048.

Dinçer, M., ve Erol, İ. (2024). Adana ASKİ Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi'nin L Tipi Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. Afet ve Risk Dergisi, 7(3), 677-696. https://doi.org/10.35341/afet.1389243

Doğan, O., Bozbeyoğlu, P., & Erkoç, N. (2023). Evaluation of Risks by L-Type (5x5) Matrix Method in an Ore Concentration Structure: A Case Study. *International Journal of Innovative Approaches in Science Research*, *7*(3), 75. https://doi.org/10.29329/ijiasr.2023.606.2

Fatemi, F., Dehdashti, A., & Jannati, M. (2022). Implementation of Chemical Health, Safety, and Environmental Risk Assessment in Laboratories: A Case-Series Study. *Frontiers in Public Health*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.898826

Foster, B. L. (2004). Laboratory safety program assessment in academia. *Chemical Health & Safety*, *11*(5), 6. https://doi.org/10.1016/j.chs.2004.05.016.

Herzer, K. R., Rodriguez-Paz, J. M., Doyle, P. A., Flint, P. W., Feller-Kopman, D., Herman, J. M., Bristow, R. E., Cover, R., Pronovost, P. J., & Mark, L. J. (2009). A Practical Framework for Patient Care Teams to Prospectively Identify and Mitigate Clinical Hazards. *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, *35*(2), 72. https://doi.org/10.1016/s1553-7250(09)35010-2.

Jensen, R. C., Bird, R. L., & Nichols, B. W. (2022). Risk Assessment Matrices for Workplace Hazards: Design for Usability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(5), 2763. https://doi.org/10.3390/ijerph19052763.

Ji, Z., Pons, D., & Pearse, J. (2021). A Methodology for Harmonizing Safety and Health Scales in Occupational Risk Assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(9), 4849. https://doi.org/10.3390/ijerph18094849.

Kolagar, M., Hosseini, S. M. H., & Felegari, R. (2020). Developing a new BWM-based GMAFMA approach for evaluation of potential risks and failure modes in production processes. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *38*(1), 273. https://doi.org/10.1108/ijqrm-09-2018-0230.

Koltan, A., Orhon, H. Y., Yılmaz, S., … Altay, M. (2010). Risk Değerlendirmede Kullanılan L Tipi Karar Matrisi Yönteminin İşçi Sağlığına Uygunluğunun Değerlendirilmesi. TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 10(38), 38-43.

Lafçı, Ö., & Öztekin, A. (2020). Arama/Kurtarma Gemilerindeki Tahlisiye (Can Kurtarma) Faaliyetlerinde L Tipi Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries, 3(2), 66-78. https://doi.org/10.46384/jmsf.746822.

Memon, S., Qureshi, Prof. D. A. S., Shah, A. A., Pitafi, A., Abbasi, M., & abbasi, A. G. (2021). Risk Management in Higher education institution: A study of Mehran UET jamhoro. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. https://doi.org/10.5281/zenodo.4576992.

Ozdemir, Y., Gül, M., & Çelik, E. (2017). Assessment of occupational hazards and associated risks in fuzzy environment: A case study of a university chemical laboratory. *Human and Ecological Risk Assessment An International Journal*, *23*(4), 895. https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1292844

Selçuk, S., & Selim, H. H. (2018). Mücevherat Sektöründe Kullanılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analiz Yöntemlerinden L Tipi Matris Yöntemi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 1(1), 21-27.

Taibi, Y., Metzler, Y. A., Bellingrath, S., Neuhaus, C. A., & Müller, A. (2022). Applying risk matrices for assessing the risk of psychosocial hazards at work. *Frontiers in Public Health*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.965262.

Tenkate, T., Kramer, D. M., Drolet, D., Strahlendorf, P., Peters, C., Candeloro, S., & Holness, D. L. (2024). Chemical Risk Assessment for Small Businesses: Development of the Chemical Hazard Assessment and Prioritization Risk (CHAP-Risk) Tool. *Applied Sciences*, *14*(16), 7167. https://doi.org/10.3390/app14167167.

Usanmaz, D., ve Köse, E. (2020). Comparative Statistical Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment in Chemical Research Laboratory. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, *12*(2), 337. https://doi.org/10.29137/umagd.606402.

Yemişçioğlu, Ş., ve Şimşek, Z. (2023). "L Tipi Matris Yöntemi ile Bir Öğrenci Yurdunun Yangın Riski Açısından Değerlendirilmesi", DÜFED, c. 12, sy. 2, ss. 251–267, doi: 10.55007/dufed.1250467.

METABOLİK BİR PERSPEKTİFTEN KENTLERİ YENİDEN DÜŞÜNMEK
RETHINKING CITIES FROM A METABOLIC PERSPECTIVE

Araş. Gör. Ebru ALA
Süleyman Demirel Üniversitesi,
ebruala@sdu.edu.tr - 0000-0002-5166-6692

ÖZET

Gezegenin kentleşmesi, doğal kaynaklar ve çeşitli ekosistemler üzerindeki talepleri giderek artırmış ve artırmaya da devam etmektedir. Artan bu talepler ve olumsuz dışsallıklar ise, kaynakların ve dolayısıyla kentlerin sürdürülebilirliğini sağlama gerekliliği noktasında yeni arayışlara ve kavramsal çerçevelere duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bu bağlamda kentsel metabolizma kavramı, kentlerin temel bileşenleri ile kentsel ekosistemler arasındaki karmaşık ve dinamik etkileşimlere ilişkin anlayışları ortaya koymada önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü kentsel metabolizma, kentleri yalnızca fiziksel mekânlar olarak değil; gıda, su veya enerji gibi temel kaynakları tüketen, dönüştüren ve yeniden üreten dinamik/canlı sistemler olarak ele almaktadır. Bu çalışma ise, bu kavramın temellerini ve kent planlama literatüründeki konumunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, kavramın son 10 yılda (2015–2025) nasıl ele alındığını ortaya koymak için Scopus veri tabanında sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yayınlara yönelik içerik analizlerinin MAXQDA 2024 programı ile yürütüldüğü bu çalışma kapsamında, kent planlama disiplini bağlamında kentsel metabolizma kavramını ele alan açık erişimli makaleler değerlendirilmiş ve bu yayınlarda öne çıkan temel bileşenler veya ilişki ağları belirlenmiştir. Bu unsurların ortaya konulması, kentsel metabolizma kavramının gelişim sürecindeki çoklu ilişki dinamiklerini anlamlandırmak ve kavram bağlamında ele alınan çeşitli kentsel metabolik süreçleri ifade etmek açısından önemlidir. Bu çalışma sonuçlarının; kentsel metabolizma kavramı bağlamında ele alınan temel kentsel bileşenleri, bileşenler arası ilişkileri ve metabolik süreçlerin yönelimlerini hem nitel hem nicel olarak ortaya koyarak gelecekteki araştırmalara yol gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Kentsel Metabolizma, Kent Planlama, Kentsel Sistemler, Kaynak Akışları

ABSTRACT

The urbanization of the planet has increasingly intensified the pressures exerted on natural resources and diverse ecosystems, and this trend continues to grow. These escalating demands and negative externalities have heightened the need for new approaches and conceptual frameworks to ensure the sustainability of resources and, consequently, cities. In this context, the concept of urban metabolism plays a crucial role in understanding the complex and dynamic interactions between the fundamental components of cities and urban ecosystems. Urban metabolism conceptualizes cities not merely as physical environments but as dynamic and living systems that consume, transform, and reproduce essential resources such as food, water, and energy. This study aims to examine the foundations of the urban metabolism and its position within the urban planning literature. Accordingly, a systematic literature review was conducted using the Scopus database to reveal how the concept has been addressed over the last decade (2015–2025). The open-access publications identified were evaluated through content analysis performed using the MAXQDA 2024 software, focusing on studies that address urban metabolism within the context of the urban planning discipline. Key components and relational networks highlighted in these publications were identified. Revealing these elements is critical for understanding the multiple relational dynamics embedded in the development of the urban metabolism concept, as well as the diverse urban metabolic processes addressed in the literature. Ultimately, the findings of this study are expected to guide future research by presenting—both qualitatively and quantitatively—the essential urban components, their interrelationships, and the evolving orientations of metabolic processes examined within the scope of urban metabolism.

Keywords : Urban Metabolism, Urban Planning, Urban Systems, Resource Flows

ÇOCUK DOSTU KENT PERSPEKTİFİNDEN MİLLET BAHÇELERİ REHBERİ'NİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Gizem KARACAN TEKİN

E-mail: karacangzm@gmail.com ORCID ID: 0000-0003-0838-8524

ÖZET

Kentlerin çocuk dostu olması inşa edilme süreçleriyle planlama ve tasarımın entegre edilmesini içermektedir. Çocuk dostu kentler çocukların kentte varlığını kabul eden ve kent planlama politika ve stratejilerinde çocukların ön planda tutulduğu kentlerdir. Kentlerin çocuk dostu olması gelecek nesillere daha yaşanabilir, güvenlikli ve erişilebilir çevreler oluşturulması yönünde önem arz etmektedir. Bu çalışma, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2020 yılında yayımlanan Millet Bahçeleri Rehberini, çocuk dostu kent yaklaşımı bağlamında değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Millet bahçeleri Türkiye'de yeni nesil kamusal alanlar olarak ön plana çıkmakta olup, farklı kullanıcı gruplarına hizmet etmeyi hedeflemektedir. Çocukların kentsel alandaki varlığını güçlendiren bir bakış açısıyla ele alındığında millet bahçelerinin bu noktada önemli bir niteliği bulunmaktadır. Bu kapsamda çalışma, yayınlanan rehberin çocuk odaklı mekânsal nitelikleri ne ölçüde karşıladığını belirlemek üzere uluslararası kriterleri analitik bir çerçeve olarak kullanmıştır. Çalışmada millet bahçesinde yer alan çocuk kullanıcılara yönelik alanlar literatürde yer alan kriterler sınıflandırılarak çeşitli bakımlardan (güvenlik, çeşitlilik, erişilebilirlik vb.) değerlendirilmiştir. Bulgular, rehberin erişilebilirlik ve yeşil alan sürekliliği gibi konularda olumlu yönler taşıdığını; ancak çocukların bağımsız hareket edebilmesi, doğa temelli oyun olanakları, kapsayıcılık ve çocuk katılımı bakımından sınırlılıklar barındırdığını göstermektedir. Sonuç olarak, millet bahçeleri rehberinin çocuk dostu kent vizyonunu daha güçlü biçimde destekleyebilmesi için geliştirilmesi gereken alanları ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çocuk Dostu Kent, Millet Bahçeleri Rehberi, Millet Bahçesi, Çocuk

1. GİRİŞ

Kentlerin planlı yerleşimler olabilmesi için alınan kararlar hızlı kentleşmenin getirdiği durumlardan etkilenmekte ve farklı düzeylerde uzmanlıklarca ele alınmaktadır. Ancak bahsi geçen kentsel alandaki hızlı kentleşme olgusu doğayla temas edilen alanların azalmasına neden olarak, kenti pek çok açıdan etkilemektedir. Bu etkiler sonucunda da kenti çocuk dostu olmaktan uzaklaştırmaktadır. Bu kapsamda çocukların kentsel alanda kamusal hâkimiyet ve ifade, fiziksel alanda ise erişilebilirlik ve güvenlik bakımından çeşitli yeterlilikleri içeren alanlara erişmesi sınırlanmaktadır. Bu sınırlılıkların ise çocuk dostu kent vizyonuyla tasarlanan kentlerde ortadan kaldırılacağı belirtilmektedir (Birol, 2009). Çocuklar kentte yetişkinlerin sahip olduğu temel hak ve hizmetlerden yararlanabilmeli, güvenli bir kentsel çevrede yaşayabilmeli, kentsel açık mekânlarda güvenli bir şekilde oynayabilmeli, paylaşımda

bulunabilmeli ve başka çocuklarla birlikte öğrenebilmelidir. Burada sıralanan gereklilikler bir kentin çocuk dostu olmasının ilk ve öncelikli koşullarıdır. Kentin fiziksel anlamda çocukların seveceği ve güvende hissedebileceği, sembolik anlamda da kent tasarımı, planlaması ve yetişkin bireylerin davranışları aracılığıyla kendilerinin toplumun diğer bireyleriyle eşit bir parçası olduğu mesajını iletebilen bir yer olması gerektiği belirtilmektedir (Churchman, 2003; Gökmen ve Taşçı, 2016).

Çocuk dostu kent yaklaşımı çocukların yalnızca kentte görünür kılınması değil, aynı zamanda kentte aktif olarak katılımının sağlanmasından temellenmektedir. Bu bağlamda kentlerin fiziksel ve sosyal çevrelerinde çocukların oyun, güvenlik ve katılım gibi haklarını destekleyecek biçimde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu düzenlemeler çocukların doğa ile iç içe olabildiği ve kendilerini ifade edebildikleri alanları içermelidir. Bu noktadan hareketle çalışmada kentlerin çocuk dostu olması vizyonu çerçevesinde ele alınması bağlamında yeni nesil kamusal alanlar olarak ifade edilen millet bahçeleri irdelenmiştir. Bu kapsamda çocukların ihtiyaçlarıyla ne ölçüde uyum sağladığı, tasarım ve planlama söylemlerinin çocuk dostu kent ilkeleriyle ne düzeyde ele alındığı Millet Bahçeleri Rehberi üzerinden ele alınmıştır.

2. YENİ NESİL KAMUSAL ALANLAR OLARAK MİLLET BAHÇELERİ

Kentlerde modernleşme ile birlikte yeni bir toplumsal yapılanmanın ortaya çıkması ile mekânların üretim süreçleri ve kullanımlarında da değişimler olmuştur. Bu değişimler temelde kentsel alanda modernleşme fikriyle ortaya çıkmıştır. İşlev ve form açısından yeni bir yeşil alan tarzı olan Millet Bahçeleri, Osmanlı dönemi boyunca ve Cumhuriyetten sonra varlığını devam ettirdiği sürede toplum yaşamında önemli bir yere sahip olmuştur. Batılılaşma süreciyle başta İstanbul olmak üzere Anadolu'da birçok şehirde oluşturulan Millet Bahçesi uygulamaları ise geçmişten günümüze gelişerek devam etmektedir (Gürkaş 2004; Çelik, 2019).

Ülkemizde de 01.03.2019 tarihli Resmi Gazete'de (RG) yayımlanan değişiklikle Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'ne Millet Bahçesi fonksiyonu eklenmiştir. Burada Millet Bahçeleri; *"Halkı doğa ile buluşturan, rekreaktif gereksinimleri karşılayan, afet anında kentin toplanma alanları olarak da kullanılabilecek, yer seçimi, alan büyüklüğü, fonksiyonları ve tasarımı gibi hususların Bakanlıkça hazırlanarak yürürlüğe konulacak Millet Bahçeleri Rehberinde belirlendiği büyük yeşil alanlar"* olarak ifade edilmiştir. Bu rehberde millet bahçelerinin kente farklı fonksiyonları içeren, estetik değeri olan, ekolojik, sağlıklı ve sürdürülebilir açık yeşil alanları artırmak, yaşam kalitesine katkı sunmak, kültürel peyzaj kimliğini yöreye özgü bitkisel ve yapısal unsurları kullanarak kazandırma hedefleri yer almaktadır. Ülkemizde millet bahçelerinin ortaya çıkması ve gelişimi, insanları doğaya yaklaştırmak ve boş zaman, aktif yaşam ve sosyalleşme için alanlar sağlayarak çeşitli ihtiyaçlara cevap vermek olarak ifade edilmektedir. Bu kapsamda birden çok kullanıcıya hitap edecek ve farklı unsurları/fonksiyonları barındıracak şekilde tasarlanması gerekmektedir (Şenik ve Uzun, 2021; Abdallah ve Tülek, 2024).

Yeni nesil kamusal alan olarak ifade edilen millet bahçeleri ile çocuk dostu kent yaklaşımı arasında doğal bir ilişki bulunmaktadır. Çocukların kentsel alandaki varlığını güçlendiren bir

bakış açısıyla ele alındığında millet bahçeleri bu noktada önemlidir. Bu çalışma, millet bahçelerinin çocuk dostu kent ilkeleriyle ilişkisini irdelemekte ve rehberde yer alan tasarım ilkelerini uluslararası kabul gören çocuk dostu mekânsal kriterlerle karşılaştırmaktadır.

3. ÇOCUK DOSTU KENT YAKLAŞIMI VE ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

3.1. Çocuk Dostu Kentlerin Ortaya Çıkışı

Çocuk dostu kent, çocuğun kentine sahip çıkan yetişkin bir birey olabilmesi için fiziksel ve sosyal gelişimini destekleyebilen özelliklere sahip olan kent olarak ifade edilmektedir. 1996 yılında düzenlenen Habitat II konferansında "Çocuk Dostu Kent" kavramı ilk kez tanımlanarak, kentlerin öncelikli olarak çocuklar için daha yaşanır yerler haline getirilmesi hedeflenmiştir (Riggio, 2002; Churchman, 2003). Bu kapsamda literatürde öne çıkan başlıca ilkeler; erişilebilirlik, güvenlik, oyun hakkı, katılım, eşitlik ve doğa ile temas olarak yer almaktadır (UNICEF, 2018).

Çocuk dostu kent girişimi temelde UNICEF'in çocuk ve kent ilişkisini kurgulayan Çocuk Hakları Sözleşmesi'ne dayanmaktadır. UNICEF'in Çocuk Dostu Şehir tanımı *"Çocukların haklarını uygulamaya kendini adamış şehir veya daha genel olarak yerel yönetim sistemidir".* Hedefleri ise;

- Sağlık ve eğitim gibi temel hizmetleri almak,
- Caddede tek başına güven içinde yürümek,
- Arkadaşları ile oyun oynamak ve yeşil alana sahip olmak,
- Kültürel ve sosyal etkinliklere katılmak,
- Etnik köken, din, gelir, cinsiyet veya engellilik durumu ne olursa olsun, her hizmete erişime sahip şehrin eşit vatandaşı olmak (UNICEF, 2018) olarak belirlenmiştir.

20. yüzyıldan itibaren, çocukların eğitime yönlendirilmesi, çocuk konusundaki araştırmaların artması, bilimsel ve teknolojik ilerlemeler ve sanayi devrimi gibi türlü unsurlar aracılığıyla toplumların çocuklara ilişkin bilinç düzeyi artmıştır (Aydoğan ve Dilek, 2024). Bu noktadan hareketle çalışmada Millet bahçelerinin çocuk dostu kent ilkeleriyle nasıl kesiştiğini ortaya koyan kuramsal tartışma, bu mekânların ne ölçüde çocuk odaklı bir yaklaşımla tasarlandığının sistematik biçimde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

3.2. Yeni Nesil Kamusal Alanlar Olarak Millet Bahçeleri

Ülkemizde millet bahçesine ilişkin süreç ilk olarak 2018 yılında Cumhurbaşkanlığı hükümet sisteminin ilk 100 günlük icraat planı kapsamında bulunan Millet Bahçeleri projeleri ile başlamıştır. Bu kapsamda da ilk 5 Millet Bahçesi'nin açılışı İstanbul'da gerçekleştirilmiştir. Ardından Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 08.01.2019 tarihli ve 6356 sayılı Olur'u ile Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği'nin; "EK-1a Ortak Gösterimleri ile EK-1e Detay Kataloğuna Millet Bahçesi" kullanımı eklenmiştir. Bu gösterimde Millet Bahçeleri kullanım detay sınıfı olarak "Alan Kullanımları" ve detay alt sınıfı olarak "Açık ve Yeşil Alanlar" kapsamında yer almaktadır. 01.03.2019 tarihi itibariyle de Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nin Tanımlar başlıklı 4.maddesinde yer verilerek bu kavrama resmiyet kazandırılmıştır. 21.05.2020 tarihinde ise "Millet Bahçeleri Rehberi" yayınlanmıştır.

Bakanlıkça yayınlanan bu rehber uygulanacak millet bahçesi projelerinde planlama, tasarım ve yönetim ilkelerini standartlaştırmayı amaçlayan ulusal bir dokümandır. Millet Bahçelerine yönelik yer seçim kriterleri, asgari alan büyüklükleri ve imar durumuna yönelik bilgiler yer almaktadır. Bu çalışmada ise, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan Millet Bahçeleri Rehberi çocuk dostu kent yaklaşımıyla ne ölçüde örtüştüğünü ortaya koymak amacıyla sistematik bir biçimde incelenmiştir.

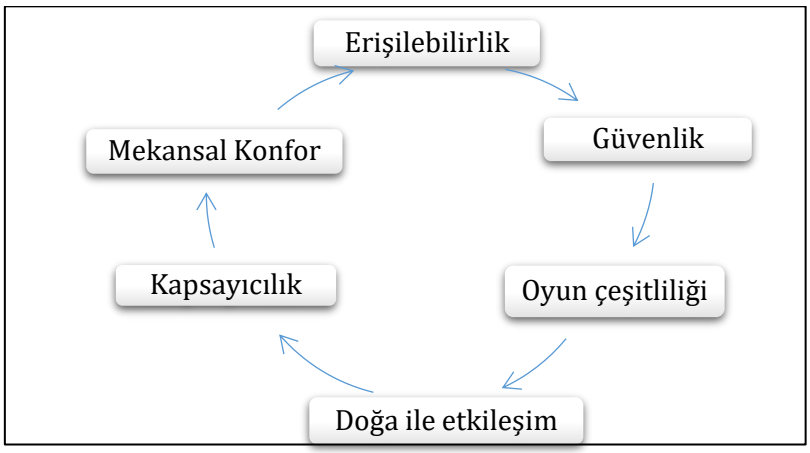
Rehberde yer alan tasarım ilkeleri; oyun alanları, erişilebilirlik, güvenlik ve donatı alanları gibi başlıklar çocuk dostu kentsel tasarım kriterleri ile karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda uluslararası literatür (UNICEF Child Friendly Cities Initiative, UN-Habitat, WHO Healthy Cities vb.) temel alınarak çocuk dostu kent ilkelerini içeren bir sınıflandırma yapılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 2. Literatürde Yer Alan Çocuk Dostu Kent İlkeleri

UNICEF Child Friendly Cities Initiative	**UN-Habitat**	**WHO Healthy Cities**	**European Child Friendly Guidelines**
Çocuk katılımı	Güvenli ve erişilebilir çevre	Sağlıklı fiziksel çevre	Yürünebilir ve güvenli ulaşım ağları
Eşitlik ve kapsayıcılık	Bağımsız çocuk hareketliliği	Güvenli ve yaşanabilir kamusal mekânlar	Oyun ve serbest zaman için çok işlevli açık alanlar
Aile ve topluluk destek sistemleri	Kamusal açık alanlara eşit erişim	Fiziksel aktiviteyi destekleyen kentler	Mikro-oyun alanları ve gündelik oyun olanakları
Temel hizmetlere erişim	Çeşitli ve kapsayıcı oyun alanları	Yeşil alanlara erişim	Doğa temelli oyun ve keşif alanları
Güvenli ve temiz çevre	Doğaya erişim ve ekosistemlerin güçlendirilmesi	Sağlıkta eşitlik	Tüm yaş grupları için kapsayıcı tasarım,
Oyun, rekreasyon ve kültürel etkinliklere erişim	Toplumsal kapsayıcılık ve eşitlik	Sağlıklı gelişim için sosyal destek	Çocukların planlama süreçlerine katılımı
Çocuk haklarının yerel yönetimlerde ana akımlaştırılması	Çocuklara duyarlı kentsel tasarım	Sürdürülebilir ve dayanıklı kentleşme	Okul-mahalle bağlantılarının güçlendirilmesi
Sürdürülebilir ve dayanıklı kentleşme	Planlama süreçlerine çocuk katılımı		Sosyal karşılaşma alanlarının desteklenmesi
	Okul-mahalle bağlantılarının güçlendirilmesi		
	Sürdürülebilir ve dayanıklı kentsel yapılar		

Yapılan sınıflandırma sonucunda rehberin incelenmesinde kullanılacak kriterler tespit edilmiştir. Bu kriterler çocuk dostu kent çalışmalarında uzmanlaşan kurumlarca yayımlanan çalışmaların çıktıları incelenerek oluşturulmuştur. Bu bağlamda;

1. UNICEF'in hak temelli Child Friendly Cities Initiative (CFCI) çalışması,
2. UN-Habitat'ın mekânsal odaklı çocuk dostu kentsel planlama ilkeleri,
3. WHO Sağlıklı Kentler Programı'nın göstergeleri,
4. European Child-Friendly Urban Planning Guidelines'ın tasarım ölçeğine yönelik ilkeleri bir arada ele alınmıştır. Sonuçta çalışmalarda tekrar eden ve sıklıkla vurgulanan başlıklar analiz edilerek ortak kavramlar belirlenmiştir (Görsel 1).



Görsel 1. Çocuk Dostu Kent İlkeleri Bağlamında Ortak Kavramlar

Yapılan literatür taramaları sonucunda elde edilen bu kavramlar Millet Bahçeleri Rehberi'nin analizinde kullanılmak üzere sınıflandırılmıştır. Bu bağlamda rehberin değerlendirilmesinde kullanılacak 6 temel kriter oluşturulmuştur. Bunlar kısaca;

- **Erişilebilirlik;** çocukların kentsel alanlara güvenli, engelsiz ve bağımsız ulaşabilmesini,
- **Güvenlik;** çocukların fiziksel, psikolojik ve çevresel açıdan güvende hissedeceği mekânların oluşturulmasını,
- **Oyun Çeşitliliği;** çocukların farklı yaş, yetenek ve ilgi alanlarına yönelik oyun ve etkinlik fırsatlarına erişebilmesini,
- **Doğa ile etkileşim**; çocukların doğal çevreyle doğrudan temas kurmasını,
- **Kapsayıcılık**; engelli, farklı yaş gruplarında, göçmen veya dezavantajlı gruplar gibi tüm çocukların eşitliğinin vurgulanmasını,
- **Mekânsal Konfor**; çocukların fiziksel olarak rahat edebileceği alanların oluşturulmasını ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Erişilebilirlik Açısından Bulgular

Millet Bahçeleri Rehberi'nde "erişilebilirlik" kavramı analiz edildiğinde 3 adet sonuca ulaşılmıştır. Bu kapsamda erişilebilirlik kavramına millet bahçeleri projelendirme ilkelerinde yer verildiği görülmüştür. Kavram ulaşım konusu ile ilişkilendirilerek;
"Erişilebilirlik - Ulaşım; Millet Bahçesi'nin ana tasarım kararları oluşturulurken öncelikle şehrin ana ulaşım ağı ile bağlantısı sağlanmalı, (toplu taşıma, özel araç, yaya, bisiklet vb.), kullanıcıların Millet Bahçeleri'ne kolay ulaşımını sağlayacak çözümler üretilmelidir." Şeklinde yer almaktadır. Ayrıca *"Alana ulaşım ve alan içerisindeki erişim; kullanıcıların özel fiziksel durumları (engelli, yaşlı, hamile vb.) göz önüne alınarak, "5378 Sayılı Engelliler*

Hakkında Kanun" ile "Erişilebilirlik İzleme ve Denetleme Yönetmeliği"ne uygun olarak tasarlanmalıdır." İfadesi yer almaktadır. Rehberde farklı kullanıcı türlerine ve dolaşım türlerine ilişkin ifadelere açıkça yer verilmiştir. Ancak erişilebilirliğin çocuk özelinde ele alınmadığı görülmektedir. Planlanan veya tasarlanan alanlarda çocuk kullanıcıları önceliklendiren bilgiler yer almamaktadır.

Güvenlik Açısından Bulgular

Millet Bahçeleri Rehberi'nde "güvenlik" kavramı analiz edildiğinde 13 adet sonuca ulaşılmıştır. Bu kapsamda güvenlik kavramına millet bahçeleri tasarımında temel ilkelerinde yer verildiği görülmüştür. Kavram projelendirme ilkeleri ile ilişkilendirilerek;
"Güvenlik; Millet Bahçeleri'nde tasarım ile kullanıcıların kendilerini güvende ve konforlu hissedecekleri, vandalizm tarzı olumsuz etkileri en aza indirgeyecek uygulamalar yapılmalıdır. Millet Bahçesi'ne girişi simgeleyecek ve aynı zamanda güvenlik unsuru olarak kullanılabilecek özgün, alan konseptine uygun ve tasarımla bütünleşen, aşırılığa kaçmayan ve kopya mimari olmayacak giriş kapıları yer almalıdır. Millet Bahçesi çevresi, güvenlik amaçlı olarak bitkisel veya görselliği etkilemeyecek duvar, çit gibi sınırlayıcılar ile çevrilebilmelidir." İfadesi yer almaktadır.

Rehberde *"çocuk oyun alanlarında sağlık ve güvenlik hedeflerini karşılamak, fiziksel ve görme engelli çocuklar için oyun fırsatları sağlamak amacıyla ekipmanların ve döşemelerin periyodik olarak yenilenmesi ve bakımı yapılmalıdır."* İfadesi yer almaktadır. Ayrıca kent mobilyalarında, giriş çıkışlarda, ve aydınlatmalarda güvenlik sistemlerinden faydalanılacağı belirtilmektedir. Rehberde güvenlik konusu yalnızca tasarım boyutunda ele alınarak bunların tehlikeli öğelerden kaçınma ve bakım-onarım süreçlerinden bahsedilmektedir. Bu kapsamda çocuk dostu kent ilkeleri bağlamında değerlendirildiğinde çocukların güvenliğini artıran açık görüş alanları, trafik risklerini azaltan tampon bölgeler oluşturulması veya riskleri azaltan çeşitli mekânsal düzenlemelerin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Oyun ve Etkinlik Çeşitliliği Açısından Bulgular

Millet Bahçeleri Rehberi'nde "oyun alanları" kavramı analiz edildiğinde 8 adet sonuca ulaşılmıştır. Bu kapsamda oyun ve etkinlik çeşitliliği kavramına millet bahçesinde yer alabilecek fonksiyonlarda yer verildiği görülmüştür. *"Çocuk Oyun Alanları; Millet Bahçeleri'nde her yaş grubu ve yetenekte çocuk için yeterli sayıda ve özellikte çocuk oyun alanı bulunmalıdır. Oyun alanlarında, sağlık ve güvenlik hedeflerini karşılamak, fiziksel ve görme engelli çocuklar için oyun fırsatları sağlamak amacıyla ekipmanların ve döşemelerin periyodik olarak yenilenmesi ve bakımı yapılmalıdır. Ayrıca kullanılacak oyuncaklar, çocuğun hareketlerini kısıtlamayan ve hayal gücünü geliştiren eğitici ve öğretici ögeler içermelidir."* İfadesi yer almaktadır. Rehber açıkça oyun ve etkinlik çeşitliliğinden bahsetmemektedir. Bu kapsamda bahsi geçen oyun alanı tasarımında içerik çoğunlukla ekipman odaklıdır ve çocuk dostu kentler bağlamında yer alan doğa temelli, serbest, yaratıcı vb. oyun modelleri yer almamaktadır.

Doğa İle Etkileşim Açısından Bulgular

Millet Bahçeleri Rehberi'nde "doğa" kavramı analiz edildiğinde millet bahçelerinin halkı doğa ile buluşturan, rekreasyon, aktif yaşam ve sosyalleşme gereksinimlerini karşılayan alanlar olduğu belirtilmektedir. Bu kapsamda doğa ile etkileşim bağlamında millet bahçeleri yer seçim kriterlerinde yer verildiği görülmüştür. Kavram alanın doğal ve kültürel özellikleri ilkeleri ile ilişkilendirilerek;

"Millet Bahçesi'nin bulunduğu yerin ve yakın çevresinin doğal ve kültürel miras özellikleri, değerleri korunmalı ve geliştirilmelidir. Bu nedenle alan ve çevresinin biyolojik çeşitliliği ve ekolojik süreçlerinin analiz edilerek korunması ve doğa onarımının yapılması önemlidir." İfadesi yer almaktadır. Ayrıca yenilikçi, yenilenebilir enerji ve doğa dostu çözümler gibi uygulamaların geliştirilmesi gibi ilkeler yer almaktadır. Ancak çocukların doğayla temas kurabileceği oyun alanları gibi düzenlemelere ilişkin detaylar yer almamaktadır.

Kapsayıcılık Açısından Bulgular

Millet Bahçeleri Rehberi'nde "kapsayıcılık" kavramı analiz edildiğinde doğrudan bir ifadeye rastlanmamıştır. Ancak Bu millet bahçeleri tasarımında temel ilkelerinde "evrensellik" ilkesine yer verildiği görülmüştür. *"Millet Bahçesi'nde tasarlanacak alanlar ve kullanımların hepsinde evrensel tasarım ilkeleri gözetilmeli ve bu alanlar herkes için tasarım anlayışı ile engelli, engelsiz, yaş, dil, yetenek, cinsiyet ve kültür ayrımı olmaksızın herkesi kapsayan nitelikte olmalıdır."* İfadesi yer almaktadır. Bu bağlamda farklı grupların değerlendirilmesi açısından olumlu olsa da, tüm çocuk gruplarını kapsayan bir perspektif sunmadığı görülmektedir. Bu nedenle rehberin kapsayıcılık bakımında dar kapsamlı bir yaklaşım sergilediği ve sınırlılıkları bulunduğu görülmektedir.

Mekânsal Konfor Açısından Bulgular

Millet Bahçeleri Rehberi'nde "mekânsal konfor" kavramı analiz edildiğinde bitkisel ve yapısal tasarıma ilişkin artı iki bölüm bulunduğu tespit edilmiştir. Bitkisel tasarım unsurları bağlamında bitli türleri, meyve bahçeleri ve yağmur bahçelerine yer verilmiştir. Yapısal tasarım bağlamında ise beton yerine toprak ve yeşilin ağırlıkta olmasına vurgu yapılmıştır. Burada çocuk oyun alanları ayrıca ele alınarak, farklı yaş grubu ve yetenekte çocuk için yeterli sayıda ve özellikte çocuk oyun alanı bulunması, fiziksel ve görme engelli çocuklar için oyun fırsatları sağlanması ve oyuncakların çocuğun hareketlerini kısıtlamayan eğitici ve öğretici ögeler içermesi gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca gölgeleme, oturma alanları, su öğeleri ve bakım süreçlerine ilişkin hükümler yer almaktadır. Ancak bu kapsamdaki hükümlerinde çocukların mevsimsel konforunu güçlendiren (gölgelik oyun alanları, rüzgârdan korunmuş alanlar vb.) özel düzenlemeler bulunmamaktadır.

Millet Bahçeleri Rehberi belirlenen altı temel çocuk dostu kent kriteri doğrultusunda değerlendirildiğinde rehberin standartları bakımında önemli bir çerçeve sunduğu görülmektedir. Ancak çocuk odaklı bir kentsel planlama ve tasarım anlayışıyla bakıldığında eksiklikler bulunduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2020 yılında yayımlanan Millet Bahçeleri Rehberi'nin uluslararası çocuk dostu kent literatüründe öne çıkan ilkelerle ne ölçüde uyum gösterdiğini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu kapsamda UNICEF CFCI (Çocuk Dostu Şehirler Girişimi), UN-HABITAT (Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı), WHO Sağlıklı Kentler Programı ve European Child-Friendly Urban Planning Guidelines (Avrupa Çocuk Dostu Kentsel Planlama Yönergeleri) çerçevesi esas alınarak oluşturulan kriterler doğrultusunda değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda rehberin çocuk dostu kent yaklaşımını yalnızca dolaylı biçimde ele aldığı görülmektedir. Rehber bazı ilkelerde genel kamusal alan düzenlemelerinde olumlu bir temel sunmasına rağmen, sıklıkla çocuk dostu kent ilkelerinden uzaktadır. Bu rehberde yer alan çocuk ve çocuk oyun alanları özelinde ele alındığında mekânsal ihtiyaçların tanımlanması gibi güncel çocuk dostu kent yaklaşımlarını içermediği görülmektedir. Oyun alanlarının yalnızca standart ekipmanlarla ifade edilmemesi, farklı yaş gruplarındaki çocuklara hitap eden alanlar oluşturulmasına yönelik uygulamalar gerekmektedir. Çocuk dostu kentlerde en önemli kriterlerden olan katılım bağlamında çocukların da yetişkinler gibi birer paydaş olarak görülmesi ve bunun rehber hazırlık süreçlerine entegre edilmesi gerekmektedir.

Sonuçta Millet Bahçeleri Rehberi'nin uluslararası çocuk dostu kent literatüründe öne çıkan ilkelerle en fazla **erişilebilirlik** bağlamında örtüştüğü; oyun çeşitliliği, kapsayıcılık, güvenlik ve çocuk katılımı gibi kritik temalarda ise **uyum düzeyinin düşük olduğu tespit edilmiştir**. Elde edilen bulgular, Millet Bahçeleri Rehberi'nin çocuk dostu olması için evrensel ilkelerle yeniden ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Abdallah, M. B., & Tülek, B. (2024). Devlet Bahçeli Millet Bahçesi'nin peyzaj tasarım kriterleri açısından değerlendirilmesi. *Mimarlık ve Yaşam, 9*(3), 423-450.

Aydoğan T.G. & Dilek, E. F. (2024). Çocuk dostu kentsel planlama ve tasarım ölçütleri. *GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism, Recreation and Sports Sciences (ATRSS),* 7(1), 188-211.

Birol, G. (2009). Çocuk dostu kent neresidir? *Megaron Balıkesir, Mimarlar Odası Balıkesir Şubesi Dergisi, 1,* 10-13.

Churchman, A. (2003). Is there a place for children in the city? *Journal of Urban Design, 8*(2), 99-111.

Çelik, F. (2019). Geç Osmanlı dönemi kentsel mekanda batılılaşma etkileri: Konya Millet Bahçesi. *Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi(44)*, 331-350.

Gökmen, H., & Taşçı, B. G. (2016). Children's views about child friendly city: a case study from Izmir. *Megaron, 11*(4), 469-482.

Gürkaş, T. (2004). Modernleşen Osmanlı parklarının Üsküdar'daki erken iki örneği: Millet Bahçesi ve Doğancılar Parkı. *Üsküdar Sempozyumu I*, 22-23 Mayıs 2003, İstanbul, 409-416

Riggio, E. (2002). Child friendly cities: good governance in the best interests of the child. *Environment and Urbanization, 14*(2), 45-58.

Şenik, B. & Uzun, O. (2021). Açık yeşil alan sistemi planlanma vetasarım süreçlerinde millet bahçelerinin rolü. *Planlama, 31*(3), 378-392.

UNICEF, 2018. Çocuk Dostu Şehirler. http://www.unicef.org.tr/files/bilgimerkezi/doc/CFC%20Catalogue-TR.pdf. Erişim Tarihi:15.11.2025

İKLİM VE HİDROJEOMORFOLOJİK BASKILAR ALTINDA NEMRUT KRATER GÖLÜ'NÜN KIYI EVRİMİ (1984–2024)

Dr. Öğr. Üyesi Alperen MERAL

Bingöl Üniversitesi,

E-posta: alperenmeral@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-6714-7187

Özet

Krater gölleri, kapalı havza karakterleri ve sınırlı hidrolojik dengeleri nedeniyle iklimsel ve hidrojeomorfolojik değişimlere karşı yüksek duyarlılık gösteren doğal sistemlerdir. Bu çalışma, Türkiye'nin en önemli volkanik peyzaj alanlarından biri olan Nemrut Krater Gölü'nün 1984–2024 yılları arasındaki kıyı çizgisi evrimini uzaktan algılama temelli mekânsal analizler yoluyla ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, farklı dönemlere ait Landsat uydu görüntüleri kullanılarak göl–kara sınırı hassas biçimde belirlenmiş; su yüzeyi ve kara alanları zamansal olarak karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçları, 1984 yılında 4258,55 ha olan kara alanının 2024 yılında 4332,39 ha'ya yükseldiğini, buna karşılık su yüzeyi alanının 1274,89 ha'dan 1201,05 ha'ya gerilediğini ortaya koymaktadır. Bu değişim, yaklaşık 40 yıllık süreçte göl alanında belirgin bir daralma ve kıyı zonunda kara lehine mekânsal bir genişleme yaşandığını göstermektedir. Gözlenen kıyı çizgisi geri çekilmelerinin; uzun dönemli iklim dalgalanmaları, artan buharlaşma oranları, yağış rejimindeki değişimler ve volkanik topoğrafyanın kontrol ettiği hidrojeomorfolojik süreçlerle ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.

Elde edilen bulgular, Nemrut Krater Gölü'nün hidrolojik dengesinin iklim baskıları altında yeniden şekillendiğini ve kıyı zonunun, iklim değişikliğinin mekânsal etkilerini yansıtan hassas bir gösterge alanı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, krater göllerinde uzun dönemli kıyı evriminin izlenmesinde Landsat tabanlı uzaktan algılama analizlerinin etkinliğini vurgulamakta ve hassas göl ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi için bilimsel bir temel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Kıyı çizgisi evrimi; Krater gölü; Landsat görüntüleri; Uzaktan algılama; İklim değişkenliği; Hidrojeomorfoloji

Abstract

Crater lakes are highly sensitive natural systems due to their closed-basin characteristics and tightly constrained hydrological balances, making them particularly vulnerable to climatic and hydrogeomorphological pressures. This study aims to investigate the shoreline evolution of Lake Nemrut Crater between 1984 and 2024 using long-term, satellite-based spatial analyses. Multi-temporal Landsat imagery was employed to delineate lake–land boundaries and to quantify temporal changes in water body and land areas.

The results indicate a pronounced spatial shift in shoreline configuration over the 40-year period. In 1984, the land area covered 4258.55 ha, while the lake surface (water body) occupied 1274.89 ha. By 2024, the land area had expanded to 4332.39 ha, accompanied by a substantial reduction in the water body to 1201.05 ha. This transition reflects a clear contraction of the lake

surface and a landward advance of the shoreline, suggesting progressive hydrological imbalance within the crater system.

Observed shoreline retreat is interpreted as the combined outcome of long-term climatic variability, increased evaporation rates, shifts in precipitation regimes, and hydrogeomorphological controls imposed by the volcanic morphology of the crater. These findings highlight the shoreline zone as a sensitive transitional interface where climatic forcing and geomorphic processes interact most visibly.

Overall, this study demonstrates that Lake Nemrut Crater has undergone a measurable reduction in surface water extent over the past four decades, emphasizing the effectiveness of Landsat-based remote sensing approaches for detecting long-term shoreline dynamics in closed-basin crater lakes. The results provide a valuable scientific basis for monitoring climate-driven hydrological change and for informing the sustainable management of fragile volcanic lake ecosystems.

Keywords: Shoreline evolution; Crater lake; Landsat imagery; Remote sensing; Climate variability; Hydrogeomorphology.

1. GİRİŞ

Krater gölleri, kapalı havza morfolojileri, sınırlı yüzeysel drenajları ve su bütçesinin büyük ölçüde iklimsel girdilere bağlı olması nedeniyle iklim değişkenliğine ve hidrojeomorfolojik süreçlere karşı son derece hassas doğal sistemlerdir. Bu göller, su seviyesi dalgalanmaları ve kıyı çizgisi yer değiştirmeleri yoluyla uzun dönemli iklim sinyallerini kaydeden doğal göstergeler olarak kabul edilmektedir (Håkanson, 1981; Schindler, 2009; Wetzel, 2001). Volkanik kökenli krater gölleri ise bu hassasiyete ek olarak litolojik heterojenlik, kaldera morfolojisi, tektonik kontrol ve hidrotermal süreçlerin birlikte etkisi altında evrimleşen karmaşık hidrojeomorfolojik sistemler olarak öne çıkmaktadır (Terada & Hashimoto, 2017; Ulusoy vd., 2008, 2012).

Doğu Anadolu Yüksek Platosu'nda yer alan Nemrut Stratovolkanı, Arap ve Avrasya levhaları arasındaki çarpışmaya bağlı post-kollizyonel tektonik rejim altında gelişmiş en genç ve en aktif volkanik merkezlerden biridir (Bozkurt, 2001; Dewey vd., 1986; Şengör & Kidd, 1979). Nemrut volkanizması yaklaşık son 1 milyon yıl içerisinde kaldera öncesi, kaldera oluşum evresi ve kaldera sonrası olmak üzere çok aşamalı bir evrim süreci sergilemiş; bu süreç boyunca bazaltik lav akıntılarından büyük hacimli ignimbirit püskürmelerine kadar geniş bir volkanik ürün yelpazesi ortaya çıkmıştır (Karaoğlu vd., 2005; Özdemir vd., 2006; Ulusoy vd., 2012).

Nemrut Kalderası'nın oluşumu, yaklaşık 60 km^3'ü aşan piroklastik malzemenin püskürülmesiyle ilişkili büyük ölçekli çökme mekanizmaları sonucunda gerçekleşmiş ve bu süreç günümüzdeki kaldera taban morfolojisini doğrudan belirlemiştir (Karaoğlu vd., 2005; Ulusoy vd., 2012). Kaldera tabanı, yapısal süreksizlikler boyunca gelişmiş çok bloklu çökme yapısı, maarlar, lav domları ve hidrovolkanik birimler ile yüksek derecede heterojen bir jeomorfolojik yapı sergilemektedir (Ertekin vd., 2021; Ulusoy vd., 2008). Bu jeomorfolojik yapı içerisinde yer alan Nemrut Krater Gölü, yaklaşık 176 m maksimum derinliği ve yarı çanak biçimli morfolojisiyle Doğu Anadolu'nun en büyük tatlı su krater göllerinden biridir (Ulusoy vd., 2008, 2012). Göl havzasının hidrolojik dengesi, yağış–buharlaşma ilişkisi, kar erimesi, yeraltı suyu beslenimi ve aktif hidrotermal dolaşım süreçleri tarafından birlikte kontrol edilmektedir (Ulusoy vd., 2008).

Nemrut Kalderası'nda yürütülen jeofizik ve uzaktan algılama temelli çalışmalar, kaldera içi hidrotermal zonların yapısal hatlar boyunca yoğunlaştığını ve bu zonların göl tabanı ile kıyı

alanlarında sediman taşınımı ve morfodinamik süreçleri etkilediğini ortaya koymuştur (Çubukçu vd., 2012; Ulusoy vd., 2008). Bu durum, göl kıyı çizgisinin yalnızca iklimsel değişkenlere değil, aynı zamanda volkanik ve tektonik miras tarafından belirlenen hidrojeomorfolojik çerçeveye de duyarlı olduğunu göstermektedir (Ertekin vd., 2021; Varekamp, 2003; Yılmaz vd., 1998).

Bölgesel ölçekte Doğu Anadolu'da son on yıllarda gözlenen sıcaklık artışları, kar örtüsü süresindeki azalma ve yağış rejimindeki düzensizlikler, kapalı havza göllerinde su seviyesinde ve kıyı morfolojisinde belirgin değişimlere yol açmaktadır (IPCC, 2021; Türkeş, 2012). Bu eğilimlerin, Nemrut Krater Gölü gibi yüksek rakımlı volkanik göllerde daha belirgin hidrolojik tepkiler oluşturduğu vurgulanmaktadır (Ertekin vd., 2021; Ulusoy vd., 2008).

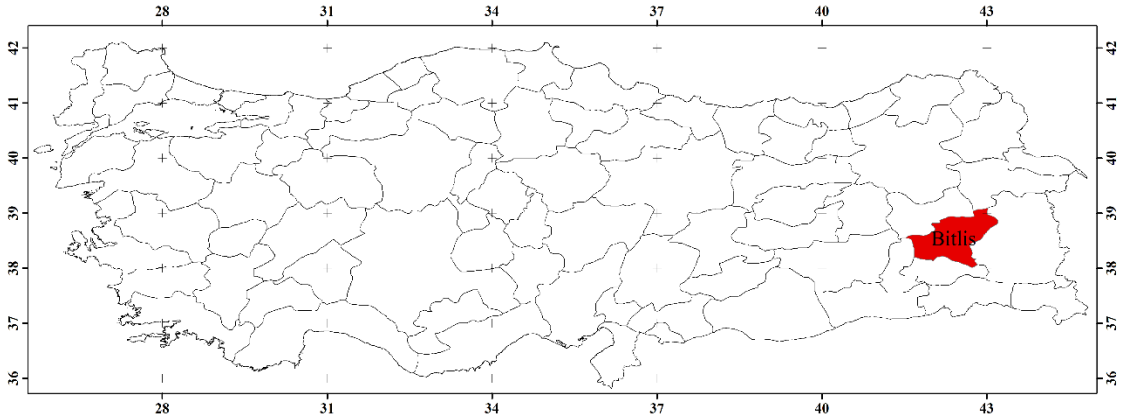
Uzaktan algılama teknikleri, özellikle Landsat uydu görüntüleri, krater göllerinde uzun dönemli yüzey alanı ve kıyı çizgisi değişimlerinin izlenmesinde yaygın ve güvenilir bir yaklaşım sunmaktadır (McFeeters, 1996; Pekel vd., 2016). Nemrut Kalderası özelinde Landsat ve ASTER verileri kullanılarak yürütülen çalışmalar, hidrotermal alanların, yapısal hatların ve göl–kara sınırının mekânsal olarak ayırt edilebildiğini göstermiştir (Ulusoy vd., 2008). Bununla birlikte, mevcut literatür Nemrut Krater Gölü'nün kıyı evrimini doğrudan iklim ve hidrojeomorfolojik baskılar altında, çok on yıllık karşılaştırmalı analizlerle ele alan çalışmalar açısından sınırlıdır (Ertekin vd., 2021).

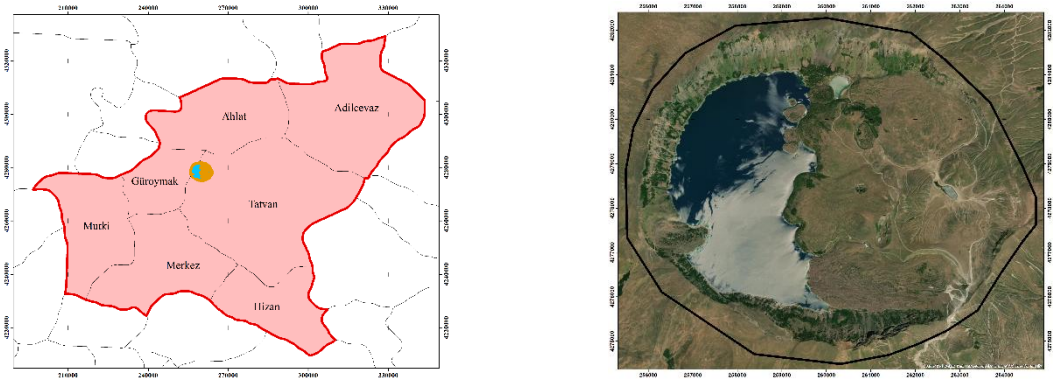
Bu bildiri, 1984–2024 yılları arasına ait Landsat görüntülerine dayalı olarak Nemrut Krater Gölü'nün kıyı çizgisi değişimini nicel biçimde ortaya koymayı ve gözlenen mekânsal dönüşümleri iklim değişkenliği ile kaldera ölçekli hidrojeomorfolojik süreçler bağlamında değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, volkanik krater göllerinde iklim kaynaklı kıyı evriminin anlaşılmasına katkı sağlamayı ve Nemrut Kalderası'nın hassas doğal miras alanı olarak sürdürülebilir yönetimine bilimsel bir temel sunmayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1.Çalışma Alanı

Araştırma alanı olarak seçilen Nemrut Gölü, Van Gölü'nün batı kıyısında, Bitlis ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Yaklaşık 1 milyon yıl süreli volkanik faaliyetler dizisi bu doğa harikasını ülkemize kazandırmıştır (Yakupoğlu & Selçuk, 2020) (Şekil 1). Aynı zamanda Nemrut Kalderası'nın Ramsar alanı, doğal anıt ve önemli jeomiras alanı statülerine sahip olması, bu gölde gerçekleştirilen kıyı evrimi analizlerinin yalnızca akademik değil, aynı zamanda koruma, izleme ve sürdürülebilir alan yönetimi açısından da yüksek uygulama potansiyeline sahip olmasını sağlamaktadır(Ertekin vd., 2021).





Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

2.2.Kıyı Çizgisi Çıkarımı ve Kara-Su Ayrımı Yöntemi

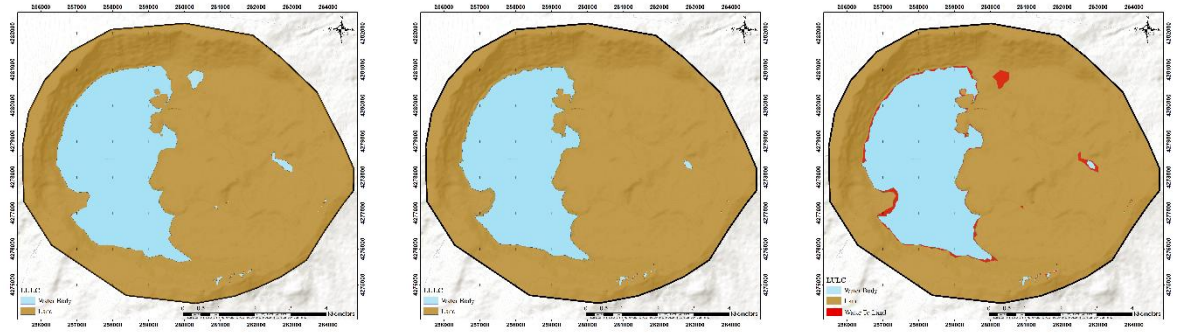
Bu çalışmada kara–su ayrımının gerçekleştirilmesi için öncelikle Landsat uydu görüntülerine ait Yakın Kızılötesi (NIR – Bant 5), Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR1 – Bant 6) ve Kırmızı (Red – Bant 4) bantları birleştirilerek RGB 5–6–4 bant kompoziti oluşturulmuştur. NIR ve SWIR bantlarında su yüzeylerinin güçlü biçimde soğurma göstermesi, bu kombinasyonun göl–kara sınırının görsel olarak belirginleştirilmesinde etkili olmasını sağlamaktadır (McFeeters, 1996; Pekel vd., 2016; Zoysa vd., 2023).

Bant birleştirme işleminin ardından, su ve kara sınıflarının nicel olarak ayrıştırılması amacıyla ArcGIS ortamında koşullu sınıflandırma uygulanmıştır. Bu aşamada, NDWI/MNDWI rasterları Conditional fonksiyonu kullanılarak belirlenen eşik değerine göre ikili (su–kara) sınıflara ayrılmıştır. Koşullu sınıflandırma yaklaşımı, piksel tabanlı mantıksal ifadeler aracılığıyla su maskesinin nesnel, tekrarlanabilir ve çok zamanlı analizlere uygun biçimde üretilmesini sağlamaktadır (Feyisa vd., 2014; Jensen & Lulla, 1987; Xu, 2006).

Elde edilen su maskeleri, RGB 5–6–4 bant kompoziti üzerinden görsel olarak kontrol edilmiş ve kıyı çizgisi çıkarımında kullanılmıştır. Bu yaklaşım, özellikle koyu renkli volkanik yüzeylerin ve topoğrafik gölgelerin yaygın olduğu alanlarda su–kara ayrım doğruluğunu artırmak açısından önerilmektedir (Pekel vd., 2016; Ulusoy vd., 2008).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ortaya konan Nemrut Krater Gölü'ndeki su yüzeyi daralması ve buna eşlik eden kara alanı genişlemesi, kapalı havza ve volkanik kökenli göllerin iklim değişkenliğine verdiği tepkiler açısından literatürle büyük ölçüde uyumlu olmakla birlikte, nicel boyutları itibarıyla da dikkat çekici sonuçlar ortaya koymaktadır. 1984–2024 döneminde göl yüzeyi 1274,89 ha'dan 1201,05 ha'ya gerileyerek yaklaşık 73,84 ha'lık bir kayıp göstermiştir. Bu değer, göl yüzeyinde yaklaşık %5,8'lik bir daralmaya karşılık gelmekte ve yıllık ortalama ~1,85 ha·yıl^{-1} düzeyinde bir su alanı kaybına işaret etmektedir (Şekil 2).



a)1984 *b)2024* *c) Değişim haritası*

Şekil 2. 1984–2024 döneminde Nemrut Krater Gölü'nün kıyı çizgisi değişimi ve kara–su alanı dinamikleri

Bu nicel daralma eğilimi, küresel ölçekte rapor edilen göl yüzeyi değişimleriyle karşılaştırıldığında anlamlı bir bağlam sunmaktadır. (Pekel vd., 2016), dünya genelindeki doğal göllerin önemli bir bölümünde son 30–40 yılda belirgin alan kayıpları yaşandığını ve bu kayıpların çoğunlukla %1–10 aralığında yoğunlaştığını bildirmektedir. Nemrut Krater Gölü'nde hesaplanan %5,8'lik alan kaybı, bu küresel aralığın orta seviyesinde yer almakta; ancak gölün volkanik kökenli ve kapalı havza karakteri dikkate alındığında, bu oranın yüksek bir hidrolojik duyarlılığa işaret ettiği değerlendirilmektedir.

Mekânsal dağılım açısından bakıldığında, alan kayıplarının özellikle sığ ve düşük eğimli kıyı zonlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, literatürde göl sistemleri için tanımlanan "eşik tepkisi" davranışıyla uyumludur; zira su seviyesinde görece sınırlı düşüşler dahi, sığ alanlarda orantısız büyüklükte yüzey alanı kaybına yol açabilmektedir (Pekel vd., 2016; Schindler, 2009). Nemrut Krater Gölü'nde yaklaşık %5–6'lık su alanı kaybının, bazı kıyı kesimlerinde metreler mertebesinde kıyı çizgisi geri çekilmeleriyle sonuçlandığı anlaşılmaktadır. Bu mekânsal tepkinin, kaldera tabanının düşük eğimli morfolojisi ve yapısal heterojenliği tarafından kuvvetlendirildiği değerlendirilmektedir (Ulusoy vd., 2008; Varekamp, 2003).

İklimsel bağlamda, Doğu Anadolu'da son on yıllarda rapor edilen ≈ +1–1,5 °C düzeyindeki sıcaklık artışları ve kar örtüsü süresindeki belirgin kısalma, Nemrut Krater Gölü'nde hesaplanan ~1,85 ha·yıl^{-1} düzeyindeki su alanı kaybını açıklayan başlıca dışsal baskılar olarak değerlendirilmektedir (IPCC, 2021; Türkeş, 2012). Bununla birlikte, Nemrut Krater Gölü örneğinde bu iklimsel sinyallerin etkisinin, volkanik topoğrafya, çok bloklu kaldera yapısı ve hidrotermal dolaşım sistemleri tarafından mekânsal olarak farklılaştırıldığı görülmektedir. Bu özellik, Nemrut Krater Gölü'nü birçok alüvyal veya tektonik kökenli gölden ayıran temel bir hidrojeomorfolojik ayırt edicilik sunmaktadır (Ertekin vd., 2021; Ulusoy vd., 2008).

Benzer volkanik göl sistemlerine ilişkin çalışmalarda rapor edilen yıllık alan değişim hızlarının genellikle 0,5–2,0 ha·yıl^{-1} aralığında değiştiği bildirilmektedir (Pekel vd., 2016). Nemrut Krater Gölü için hesaplanan ~1,85 ha·yıl^{-1}'lik değer, bu aralığın üst sınırına yakın olup, gölün iklim değişkenliğine karşı görece yüksek bir hassasiyet sergilediğini göstermektedir. Bu hassasiyetin, gelecekte öngörülen iklim senaryoları altında göl alanında daha hızlı ve potansiyel olarak geri

dönüşü zor morfolojik değişimlerin yaşanabileceğine işaret ettiği düşünülmektedir (IPCC, 2021).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Nemrut Krater Gölü'nün 1984–2024 yılları arasındaki kıyı çizgisi evrimini uzaktan algılama temelli mekânsal analizler aracılığıyla ortaya koyarak, volkanik krater göllerinin iklim ve hidrojeomorfolojik baskılar altındaki uzun dönemli tepkilerini nicel olarak değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, yaklaşık %5,8'lik su yüzeyi kaybı ve yıllık ortalama ~1,85 ha·yıl^{-1} düzeyindeki daralma hızı ile Nemrut Krater Gölü'nün hidrolojik dengesinin son kırk yılda belirgin biçimde bozulduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, göl kıyı zonunun iklim değişikliğinin mekânsal etkilerini yansıtan duyarlı bir geçiş alanı olduğunu açıkça göstermektedir.

Analizler, kıyı çizgisi geri çekilmelerinin özellikle sığ ve düşük eğimli kıyı kesimlerinde yoğunlaştığını, dolayısıyla göl sisteminin su seviyesi değişimlerine eşik (threshold) davranışı sergilediğini ortaya koymuştur. Bu mekânsal tepkinin, yalnızca iklimsel girdilerle değil; aynı zamanda volkanik topoğrafya, çok bloklu kaldera yapısı ve hidrotermal dolaşım süreçleri tarafından yönlendirildiği anlaşılmaktadır. Bu yönüyle Nemrut Krater Gölü, klasik alüvyal veya tektonik kökenli göllerden ayrışan, iklim–jeomorfoloji etkileşiminin birlikte değerlendirilmesini zorunlu kılan özgün bir doğal sistem sunmaktadır.

Çalışma sonuçları, Landsat tabanlı uzun dönemli uzaktan algılama analizlerinin, kapalı havza krater göllerinde kıyı evriminin izlenmesi açısından güvenilir, tekrarlanabilir ve maliyet-etkin bir yöntem sunduğunu da ortaya koymuştur. NDWI/MNDWI tabanlı su çıkarımı ile ArcGIS ortamında uygulanan koşullu sınıflandırma yaklaşımı, farklı sensör ve yıllar arasında tutarlı sonuçlar üreterek kıyı çizgisi değişimlerinin nicel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Bu bağlamda, Nemrut Krater Gölü'nün gelecekteki evrimine ilişkin belirsizliklerin azaltılabilmesi ve göl ekosisteminin sürdürülebilir biçimde yönetilebilmesi için aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

1. Uzun dönemli izleme programları kapsamında, Landsat ve Sentinel-2 gibi orta-yüksek çözünürlüklü uydu verileri kullanılarak kıyı çizgisi ve su yüzeyi değişimlerinin düzenli aralıklarla izlenmesi önerilmektedir.

2. Kıyı evriminin iklimle ilişkisini daha ayrıntılı ortaya koyabilmek için, meteorolojik veriler (yağış, sıcaklık, buharlaşma) ile uzaktan algılama temelli sonuçların bütünleşik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

3. Nemrut Kalderası'ndaki hidrotermal ve yeraltı suyu süreçlerinin, göl su bütçesine katkısının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla jeofizik ve hidrojeolojik çalışmaların uzaktan algılama analizleriyle desteklenmesi önerilmektedir.

4. Alanın doğal anıt ve jeomiras statüsü dikkate alındığında, kıyı zonunda gerçekleşen mekânsal değişimlerin ekosistem, habitat ve peyzaj bütünlüğü üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, koruma ve yönetim stratejilerine entegre edilmelidir.

5. Son olarak, Nemrut Krater Gölü'nün benzer volkanik göl sistemleriyle karşılaştırmalı olarak ele alındığı bölgesel ve küresel ölçekli çalışmalar, iklim değişikliğinin krater gölleri üzerindeki etkilerinin genellenebilmesi açısından önem taşımaktadır.

Sonuç olarak bu bildiri, Nemrut Krater Gölü'nün kıyı evriminin yalnızca geçmişe yönelik bir değişim analizi sunmakla kalmayıp, aynı zamanda iklim değişikliği altında hassas volkanik göl sistemlerinin izlenmesi ve yönetimi için bilimsel bir referans çerçevesi ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, *14*(1-3), 3-30. https://doi.org/10.1016/S0985-3111(01)01066-X

Çubukçu, H. E., Ulusoy, İ., Aydar, E., Ersoy, O., Şen, E., Gourgaud, A., & Guillou, H. (2012). Mt. Nemrut volcano (Eastern Turkey): Temporal petrological evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *209-210*, 33-60. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.08.005

Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F., & Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia — a young collision zone. *Geological Society, London, Special Publications*, *19*(1), 1-36. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.01

Ertekin, C., Ekinci, Y. L., Büyüksaraç, A., & Ekinci, R. (2021). Geoheritage in a mythical and volcanic terrain: an inventory and assessment study for geopark and geotourism, Nemrut Volcano (Bitlis, Eastern Turkey). *Geoheritage*, *13*(3), 73. https://doi.org/10.1007/s12371-021-00593-5

Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, *140*, 23-35. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029

Håkanson, L. (1981). *A Manual of Lake Morphometry*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-81563-8

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.

Jensen, J. R., & Lulla, K. (1987). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. *Geocarto International*, *2*(1), 65-65. https://doi.org/10.1080/10106048709354084

Karaoğlu, Ö., Özdemir, Y., Tolluoğlu, A. Ü., Karabıyıkoğlu, M., & Köse, O. (2005). Stratigraphy of the volcanic products around Nemrut caldera: Implications for reconstruction of the caldera formation. *Turkish Journal of Earth Science*, *14*(2005), 123-143.

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, *17*(7), 1425-1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714

Özdemir, Y., Karaoğlu, Ö., Tolluoğlu, A. U., & Güleç, N. (2006). Volcanostratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (East Anatolian High Plateau): The most recent post-

collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology*, *226*(3-4), 189-211. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.09.020

Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, *540*(7633), 418-422. https://doi.org/10.1038/nature20584

Schindler, D. W. (2009). Lakes as sentinels and integrators for the effects of climate change on watersheds, airsheds, and landscapes. *Limnology and Oceanography*, *54*(6part2), 2349-2358. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2349

Şengör, A. M. C., & Kidd, W. S. F. (1979). Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, *55*(3-4), 361-376. https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90184-7

Terada, A., & Hashimoto, T. (2017). Variety and sustainability of volcanic lakes: Response to subaqueous thermal activity predicted by a numerical model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *122*(8), 6108-6130. https://doi.org/10.1002/2017JB014387

Türkeş, M. (2012). Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, *4*(2), 1-32. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000063

Ulusoy, İ., Çubukçu, H. E., Aydar, E., Labazuy, P., Ersoy, O., Şen, E., & Gourgaud, A. (2012). Volcanological evolution and caldera forming eruptions of Mt. Nemrut (Eastern Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *245-246*, 21-39. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.06.031

Ulusoy, İ., Labazuy, P., Aydar, E., Ersoy, O., & Çubukçu, E. (2008). Structure of the Nemrut caldera (Eastern Anatolia, Turkey) and associated hydrothermal fluid circulation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *174*(2008), 269-283.

Varekamp, J. C. (2003). Lake contamination models for evolution towards steady state. *Journal of Limnology*, *62*(1s), 67. https://doi.org/10.4081/jlimnol.2003.s1.67

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology Lake and River Ecosystem*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2009-0-02112-6

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, *27*(14), 3025-3033. https://doi.org/10.1080/01431160600589179

Yakupoğlu, T., & Selçuk, G. Ö. (2020). Nemrut Kalderası'nın (Bitlis/Türkiye) jeopark potansiyeli . *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *1*, 1-12.

Yılmaz, Y., Güner, Y., & Şaroğlu, F. (1998). Geology of the quaternary volcanic centres of the east Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *85*(1-4), 173-210. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00055-9

Zoysa, S., Basnayake, V., Samarasinghe, J. T., Gunathilake, M. B., Kantamaneni, K., Muttil, N., Pawar, U., & Rathnayake, U. (2023). Analysis of multi-temporal shoreline changes due to a harbor using remote sensing data and GIS techniques. *Sustainability*, *15*(9), 7651. https://doi.org/10.3390/su15097651

İKLİME DUYARLI KENTSEL ÇATI PEYZAJLARI: SİSTEMATİK BİR DERLEME VE YENİ BİR HİBRİT ÇATI EKOSİSTEM HİZMETLERİ MATRİSİ

Dr. Öğrt. Üyesi Sinan KORDON
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü
sinankordon@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-3165-2119

Ahmet KARCI
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı
ahmetkarci.tr@outlook.com - https://orcid.org/0009-0005-3487-7067

Dr. Öğrt. Üyesi Mahmut TUĞLUER
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü
mahmuttugluer@ksu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-4357-9599

ÖZET

Dünyanın birçok kentinde nüfus artışı, iklim değişikliğinin etkileri ve geçirimsiz yüzeylerin yaygınlaşması nedeniyle çevresel baskılar giderek artmaktadır. Bu bağlamda yeşil, mavi, solar ve entegre çatı sistemleri, kentsel iklimsel dayanıklılığı destekleyen doğa temelli stratejilerin önemli bileşenleri olarak öne çıkmaktadır. Literatürde her bir çatı tipinin performansına ilişkin kapsamlı bilgiler bulunsa da, bu sistemlerin sunduğu ekosistem hizmetlerini karşılaştırmalı bir biçimde değerlendiren bütüncül bir analitik çerçeve hâlâ bulunmamaktadır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu gidermek amacıyla 2000–2025 yılları arasında yayımlanan 112 hakemli yayını kapsayan yapılandırılmış bir sistematik derleme gerçekleştirmekte ve Hibrit Çatı Ekosistem Hizmetleri Matrisi adlı yeni bir kavramsal araç önermektedir. Bulgular, yeşil çatıların düzenleyici ve destekleyici ekosistem hizmetlerinde öne çıktığını, mavi çatıların yağmur suyu yönetiminde merkezi bir rol oynadığını ve solar çatıların ağırlıklı olarak enerji teminine katkıda bulunduğunu göstermektedir. Entegre çatı sistemleri ise iklimsel, ekolojik ve sosyo-kültürel faydaları bir arada sunan çok işlevli yapılarıyla dikkat çekmektedir. Bu matris farklı çatı tipleri

arasındaki sinerjilerin ve ortak faydaların değerlendirilmesine olanak sağlayarak iklim ve afet dayanıklılık odaklı kentsel planlama süreçlerine yol gösterici bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışma, entegre çatı peyzajlarının iklim duyarlı tasarıma nasıl entegre edilebileceğine ve gelecekteki araştırmaların uzaktan algılama, yapay zekâ destekli izleme ve farklı iklim bölgeleri arasında yapılacak karşılaştırmalı analizlerle nasıl güçlendirilebileceğine ilişkin önerilerle son bulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil çatı; mavi çatı; solar çatı; entegre çatı; ekosistem hizmetleri; doğa temelli çözümler; kentsel dayanıklılık.

CLIMATE-RESPONSIVE URBAN ROOFSCAPES: A SYSTEMATIC REVIEW AND A NEW HYBRID ROOF ECOSYSTEM SERVICES MATRIX

Asst. Prof. Dr. Sinan KORDON
Kahramanmaras Sutcu Imam University /Faculty of Forestry/ Department of Landscape Architecture
sinankordon@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-3165-2119

Ahmet KARCI
Kahramanmaras Sutçu Imam University /Institute of Science/ Department of Landscape Architecture
ahmetkarci.tr@outlook.com - https://orcid.org/0009-0005-3487-7067

Asst. Prof. Dr. Mahmut TUĞLUER
Kahramanmaras Sutcu Imam University /Faculty of Forestry/ Department of Landscape Architecture
mahmuttugluer@ksu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-4357-9599

ABSTRACT

Urban areas across the world are increasingly exposed to environmental pressures driven by population growth, the effects of climate change and the expansion of impervious surfaces. In this context, green, blue, solar and integrated roof systems have become important components of nature based strategies that support urban climate resilience. Although the literature provides extensive information on the performance of each roof type, there is still no comprehensive analytical framework that evaluates the ecosystem services they offer in a comparative way. This study aims to address this gap by conducting a structured systematic review of 112 peer reviewed publications published between 2000 and 2025 and introduces a new conceptual tool called the Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix (HRESM). The findings show that green roofs are particularly effective in regulating and supporting ecosystem services, blue roofs play a central role in stormwater management, and solar roofs contribute mainly to energy provision. Integrated roof systems stand out with their multifunctional capacity that combines climatic, ecological and socio cultural benefits. The HRESM provides a practical approach for assessing

synergies, trade offs and co benefits among different roof types and offers guidance for resilience oriented urban planning. The study concludes with recommendations on how integrated roofscapes can be incorporated into climate responsive design and how future research can be supported through remote sensing, artificial intelligence based monitoring and comparative evaluations across different climate regions.

Keywords: Green roof; blue roof; solar roof; integrated roof; ecosystem services; nature based solutions; urban resilience.

1. INTRODUCTION

Rapid urbanization, climate change impacts and increasing impervious surface cover have amplified the environmental pressures on cities (Ouyang et al., 2022). As a response, rooftops as neglected urban areas have gained importance for their potential to host multifunctional systems capable of providing ecosystem services. In particular, green roofs, blue roofs, solar roofs and integrated/hybrid roof systems are recognized as nature-based solutions that improve urban microclimates, manage stormwater, enhance biodiversity, support renewable energy production and contribute to urban sustainability (Chen et al., 2025; Hui & Chan, 2011).

Despite the growing number of studies addressing the performance of roof systems, the literature remains fragmented. Existing research typically evaluates one roof type or one ecosystem service, while comparative, holistic or integrated assessments are considerably limited. Moreover, there is no unified conceptual matrix that positions different roof typologies within a single ecosystem services framework.

This gap limits the ability of landscape architects, architects and urban planners to compare multifunctional performance across roof types, identify potential synergies and trade-offs, understand integrated performance in climate-responsive design.

The primary purpose of this study is to close this gap by developing the Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix (HRESM) which synthesizes the multidimensional framework that categorizes and compares ecosystem services delivered by four major roof types. This study therefore makes an original contribution by creating a comprehensive comparison tool for assessing the environmental, social and functional performance of urban roofscapes.

1.1. Definition of Roof Typologies within the HRESM Framework

Before interpreting the matrix findings, it is essential to clarify the roof typologies evaluated in the Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix (HRESM). Green roofs, also called as vegetated roofs, are roof systems that incorporate a growing medium and vegetation layers over a waterproof membrane. Depending on substrate depth and management intensity, green roofs are commonly classified as extensive, semi-intensive or intensive systems, providing varying levels of ecological functionality (Oberndorfer et al., 2007; Berardi, 2016). These systems are primarily designed to enhance evapotranspiration, improve microclimatic conditions and support urban biodiversity.

Additionally, blue roofs are non-vegetated roof systems specifically engineered for stormwater retention and detention. Unlike conventional roofs that rapidly convey runoff into drainage

systems, blue roofs temporarily store rainfall on the roof surface and release it in a controlled manner, thereby reducing peak flows and mitigating urban flood risk (Hathaway & Hunt, 2010; Gonçalves et al., 2021). Their ecological performance is largely hydrological, as the absence of vegetation limits other ecosystem services.

On the other hand, solar roofs consist of rooftop photovoltaic (PV) systems designed to generate renewable energy. While their primary contribution is energy provisioning, several studies have noted potential thermal side effects, including localized heat accumulation due to panel surface temperatures, which may influence rooftop microclimates (Barron-Gafford et al., 2016). Ecological and cultural ecosystem services associated with solar roofs are generally limited unless combined with other roof components.

Combining green, blue and solar roof systems is a trending strategy because each typology addresses different but interrelated urban challenges. Vegetation enhances thermal regulation and ecological performance, water retention layers improve stormwater management and hydrological resilience, and photovoltaic systems contribute to on-site renewable energy generation. When integrated, these systems reinforce one another by reducing thermal stress on solar panels, sustaining evapotranspiration through retained water and maximizing the multifunctional use of limited roof space. As a result, integrated roofscapes deliver higher cumulative ecosystem service benefits than single-function roof systems.

Integrated or hybrid roofs combine two or more roof typologies, most commonly green, blue and solar elements into a single multifunctional system. These roofscapes aim to maximize ecosystem service delivery by leveraging synergies between vegetation, water storage and energy production (Hui & Chan, 2011; Scherba et al., 2011). Integrated roofs represent the most complex but also the most adaptive roof typology within climate-responsive urban design.

1.2. Ecosystem Services Classification

To systematically evaluate roof performance, ecosystem services were categorized following the Millennium Ecosystem Assessment framework (MEA, 2005) and subsequent refinements (TEEB, 2010). Provisioning services refer to tangible outputs such as food, freshwater and renewable energy. Regulating services include climate regulation, stormwater management, air quality improvement and noise reduction. Supporting services encompass ecological processes such as soil formation, nutrient cycling and biodiversity support that enable other ecosystem services to function. Cultural services involve non-material benefits, including aesthetic quality, recreational opportunities, landscape perception and psychological well-being.

This classification provides a comprehensive theoretical foundation for comparing multifunctional roof systems beyond single-performance indicators.

2. METHODOLOGY

2.1 Research Design

The study follows a structured systematic review approach. No primarily collected data was used. The goal is to synthesize the existing scientific literature into a new integrative conceptual matrix. Primarily, the methodological steps include defining roof typologies green, blue, solar, and integrated. Secondly, a framework study was conducted via in-depth literature review to identify the main and subcategories of ecosystems services. Thirdly, structured literature research was conducted to classify the benefits of each roof system associated with each ecosystem services. Fourthly, findings were categorized to develop a Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix.

2.2 Literature Search Strategy

A systematic search was performed using Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink and Google Scholar data bases. Search terms include keywords related to green roof types and ecosystems services such as “green roof ecosystem services”, “blue roof stormwater management”, “solar roof energy performance”, “integrated roof systems”, “roofscape microclimate”, “nature-based solutions roof” etc. Only peer-reviewed research and review articles published between 2000-2025 were selected for the first review. Literature research was completed in April, 2025. A total of 278 papers were selected initially. Only 112 studies met the inclusion criteria. Selection criteria include “a clear classification of green roof type” or “a clear discussion of the green roof benefit associated with a ecosystem service”.

2.3 Ecosystem Services Classification Framework

Green roof types were categorized into four groups including vegetated roofs, blue roofs, solar roofs, and integrated hybrid roofs. On the other hand, ecosystem services were categorized using a synthesis of “regulating services”, “supporting services”, “cultural services”, “provisioning services” (Hasan et al., 2020). All these categories were used to develop a Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix. For each study, roof type, mentioned ecosystem service, positive or negative effect, magnitude of the benefits was listed into the matrix table. The matrix

compares roof types vertically and ecosystem service categories horizontally, showing the strength of evidence using a qualitative scoring notation including "*" = positive evidence, "**" = strong, consistent evidence, "***" = dominant and highly supported evidence, "–" = reference not found.

3. RESULTS

To enable a systematic comparison of ecosystem service delivery across different roof typologies, the findings of the structured literature review were synthesized into a single analytical framework. The Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix (HRESM) consolidates evidence from 112 peer-reviewed studies and organizes ecosystem services according to four main categories including regulating, supporting, cultural and provisioning services, across green, blue, solar and integrated roof systems. Rather than focusing on isolated performance indicators, the matrix provides a holistic overview of multifunctionality, highlighting relative strengths, synergies and trade-offs among roof types. The qualitative scoring approach adopted in the matrix reflects the consistency and strength of evidence reported in the literature, thereby offering an interpretable and comparative tool for subsequent analysis.

Table 1 . Summary Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix (HRESM)

	REGULATING SERVICES			SUPPORTING SERVICES			CULTURAL SERVICES			PROVISIONING SERVICES		
Reference	UHI Mitigation	Stormwater Regulation	Air Quality Regulation	Biodiversity Support	Habitat Provision	Soil / Substrate Support	Aesthetic Value	Landscape Perception	Recreation & Well-being	Energy Production	Water Provision	Food Production
Green Roof Systems												
Getter & Rowe (2006)	*	*	*	--	--	*	*	*	--	--	--	*
Oberndorfer et al. (2007)	*	*	--	*	--	--	--	--	--	--	--	--
Yang et al. (2008)	--	--	*	--	*	--	*	--	*	--	--	--
Berndtsson (2010)	--	*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	*
Santamouris (2014)	*	--	--	*	--	--	--	--	--	--	--	--
Blue Roof Systems												
Hathaway & Hunt (2010)	--	*	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--
Shafique et al. (2016)	*	*	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--
Busker et al. (2022)	--	*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cristiano et al. (2022)	--	*	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Gonçalves et al. (2021)	*	*	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--
Solar Roof Systems												
Barron-Gafford et al. (2016)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--	--
Chemisana & Lamnatou (2014)	*	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--	--
Schindler et al. (2018)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--	--
Nash et al. (2016)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--	--
Catalbas et al. (2021)	*	--	--	--	--	--	--	--	--	*	--	--
Integrated Roof Systems (Cumulative Synthesis)												
Cumulative synthesis of green, blue and solar roofs	***	***	**	**	*	*	**	*	*	**	**	*

This table represents a synthesized overview of ecosystem services derived from the reviewed literature. It does not report original empirical measurements but summarizes cumulative evidence across multiple studies. The assessment reflects qualitative evidence of service presence rather than quantitative performance metrics. The integrated roof row represents a cumulative synthesis of evidence derived from green, blue and solar roof studies. A value of "*" indicates that the respective ecosystem service is supported by at least one of the reviewed roof typologies. Individual references are conservatively mapped and do not imply that a single study addresses all services.

3.1.Overview of Findings

The HRESM reveals distinct performance patterns across roof typologies. Green roofs demonstrate strong regulating ecosystem services, particularly in urban heat island mitigation, air quality improvement and noise attenuation, consistent with previous findings highlighting their cooling and buffering capacities (Getter & Rowe, 2006; Santamouris, 2014; Yang et al., 2008). In addition, green roofs provide robust supporting services by creating habitats for insects and pollinators and by supporting substrate-based ecological processes (Tonietto et al., 2011; Madre et al., 2014). Cultural services associated with green roofs are moderate but consistently positive, as vegetated roofscapes tend to enhance visual quality and landscape preference. Provisioning services, however, remain limited and are generally restricted to intensive systems capable of supporting urban agriculture (Whittinghill & Rowe, 2012).

Blue roofs exhibit the highest performance in regulating services related to stormwater management. Multiple studies report peak flow reductions approaching 80–90% under suitable rainfall conditions, confirming their effectiveness as urban flood mitigation infrastructure (Hathaway & Hunt, 2010; Gonçalves et al., 2021). However, due to the lack of vegetation, blue roofs contribute minimally to supporting services such as biodiversity or soil ecology. Cultural services are context-dependent and typically modest, improving primarily when water is visually integrated into architectural design.

Solar roofs are dominated by provisioning services through renewable energy generation. Their contribution to climate mitigation occurs indirectly via reduced greenhouse gas emissions rather than through local ecological processes. Regulating, supporting and cultural services are generally minimal, and several studies have documented potential thermal trade-offs associated with increased rooftop temperatures beneath photovoltaic panels (Barron-Gafford et al., 2016).

Integrated roofs demonstrate the highest cumulative potential for multifunctionality across all ecosystem service categories. By combining vegetation, water storage and photovoltaic systems, integrated roofs simultaneously deliver regulating, supporting, cultural and provisioning services. The matrix indicates that integrated systems consistently outperform single-function roofs in cumulative ecosystem service delivery, although their performance depends strongly on design configuration and management.

Overall, the Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix (HRESM) demonstrates that ecosystem service delivery varies substantially across roof typologies, with each system exhibiting distinct functional strengths. While green roofs primarily enhance regulating and supporting services and blue roofs excel in stormwater management, solar roofs contribute mainly to energy

provisioning. Integrated roof systems, however, emerge as the most multifunctional solution by simultaneously delivering climatic regulation, ecological support and socio-cultural benefits. This synthesis highlights the importance of hybrid roofscapes as key components of climate-responsive urban infrastructure rather than single-function technical solutions.

3.2. Synergies and Trade-Offs among Roof Systems

The HRESM highlights several critical synergies. Green–solar roof combinations benefit from evaporative cooling provided by vegetation, which can reduce photovoltaic panel operating temperatures by 10–20°C and improve energy efficiency by approximately 2–3% (Hui & Chan, 2011). Green–blue roof systems enhance stormwater retention while maintaining substrate moisture, thereby increasing evapotranspiration and supporting vegetation performance. Blue–solar interactions further reduce evaporation losses through panel shading, extending water storage duration during rainfall events.

Despite these synergies, trade-offs remain. Excessive shading from photovoltaic panels can limit plant growth if panel tilt and spacing are not optimized. Blue roofs impose structural load requirements that may restrict retrofit applications. Intensive green roofs demand higher maintenance inputs to sustain long-term performance.

4. DISCUSSION and CONCLUSION

4.1. Integrated Roofscapes as Climate-Responsive Infrastructure

The findings demonstrate that integrated roofscapes represent a powerful form of climate-responsive urban infrastructure. Hybrid cooling mechanisms that combine shading and evapotranspiration contribute to thermal regulation at both building and neighborhood scales. Enhanced stormwater retention and delayed runoff release improve urban flood resilience, while multi-layered habitats created by integrated systems support biodiversity and pollinator activity. Beyond biophysical benefits, integrated roofs also provide cultural ecosystem services by improving visual quality, enabling social use and contributing to psychological restoration in dense urban environments (Berardi, 2016; Oberndorfer et al., 2007).

4.2 Implications for Landscape Architecture

Landscape architects are uniquely positioned to lead the design and implementation of integrated roofscapes due to their system-oriented understanding of vegetation, substrate, hydrology and spatial organization. Their ability to integrate ecological performance with aesthetic and social dimensions allows roofscapes to function as extensions of urban green infrastructure networks rather than isolated technical solutions. Within this context, the HRESM functions as a decision-support tool that enables practitioners to compare expected ecosystem service outcomes, align roof design with climatic and municipal priorities, and strategically integrate roofscapes into broader resilience frameworks.

4.3 Research Gaps and Future Directions

The systematic review identifies several gaps in current research. Comparative studies across different climate zones remain limited, restricting transferability of performance results. Long-term monitoring using IoT sensors, remote sensing and digital twins is still underdeveloped. AI-supported roofscape classification and life-cycle cost analyses of hybrid systems require further exploration. Finally, human perception and landscape preference studies related to integrated roofs—particularly in developing countries—remain scarce and represent an important avenue for future research.

4.4 Conclusion

This study introduces the Hybrid Roof Ecosystem Services Matrix (HRESM) as a comprehensive analytical framework for synthesizing ecosystem services provided by green, blue, solar and integrated roof systems. The systematic review of 112 studies reveals consistent patterns: green roofs excel in ecological and supporting services, blue roofs dominate stormwater regulation, solar roofs lead in energy provisioning, and integrated roofs achieve the highest level of multifunctionality. By offering a unified comparison tool, the HRESM supports evidence-based, climate-responsive planning and underscores the strategic importance of integrated roofscapes in urban resilience initiatives. Future research should prioritize empirical validation, digital monitoring technologies and socio-cultural evaluations to further advance nature-based roofscape solutions.

REFERENCES

Barron-Gafford, G. A., Minor, R. L., Allen, N. A., Cronin, A. D., Brooks, A. E., & Pavao-Zuckerman, M. A. (2016). The photovoltaic heat island effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Scientific Reports, 6*, 35070.

Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering, 36*(4), 351–360.

Chemisana, D., & Lamnatou, C. (2014). Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. *Applied Energy, 119*, 246–256.

Chen, L., Lin, Z., Zhou, Q., Zhang, S., Li, M., & Wang, Z. (2025). Impacts of photovoltaics and integrated green roofs on urban climate: Experimental insights for urban land surface modelling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 217*, 115709.

Cristiano, E., Deidda, R., Viola, F., & others. (2023). The effects of multilayer blue-green roof on the runoff water quantity and quality. *Scientific Reports*.

Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience, 41*(5), 1276–1285.

Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science & Technology, 43*(19), 7564–7570.

Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development, 34*, 100527.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf

Nash, C., Clough, J., Gedge, D., Lindsay, R., & Newport, D. (2016). Initial insights on the biodiversity potential of biosolar roofs: A London Olympic Park green roof case study. *Israel Journal of Ecology & Evolution, 62*(1–2), 74–87.

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. K. Y., & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience, 57*(10), 823–833.

Ouyang, Z., Sciusco, P., Jiao, T., Feron, S., Lei, C., Li, F., John, R., Fan, P., Li, X., Williams, C. A., Chen, G., Wang, C., & Chen, J. (2022). Albedo changes caused by future

urbanization contribute to global warming. *Nature Communications*, *13*(1), 3800. https://doi.org/10.1038/s41467-022-31558-z

Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, *103*, 682–703.

Schindler, B. Y., Griffith, A. B., & Jones, K. N. (2018). Green roof and photovoltaic panel integration: Effects on plant and arthropod diversity and electricity production. *Journal of Environmental Management*, *225*, 97–107.

TEEB. (2010). *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations*. Earthscan.

Whittinghill, L. J., & Rowe, D. B. (2012). The role of green roof technology in urban agriculture. *Renewable Agriculture and Food Systems*, *27*(4), 314–322.

KIRSAL TURİZM ALANLARINDA PEYZAJ MİMARLIĞININ ROLÜ

Arş. Gör. İlknur YAZICI
Bingöl Üniversitesi,
iyazici@bingol.edu.tr - 0009-0003-9134-2654

Arş. Gör. Büşra KUTLU
Süleyman Demirel Üniversitesi,
kutlubusra@sdu.edu.tr - 0009-0002-1985-9299

ÖZET

Kırsal turizm, doğal ve kültürel kaynakların korunarak kullanılması prensiplerini temel alarak kırsal alanlarda yapılan turizm etkinliklerini kapsamaktadır. Bu bağlamda peyzaj mimarlığı disiplini kırsal peyzaj alanlarının planlanması ve tasarımında; doğal kaynakların korunması, mekânsal kalitenin artırılması ve yerel kimliğin sürdürülebilirliği açısından kritik bir role sahiptir. Çalışmanın amacı, kırsal turizm alanlarında peyzaj mimarlığının rolünü araştırmak, peyzaj planlama ve tasarım süreçlerinin kırsal turizme katkılarını değerlendirmektir. Çalışmada, kırsal turizm ve peyzaj mimarlığı ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Elde edilen bulgular, peyzaj mimarlığı ilkeleri doğrultusunda planlanan kırsal turizm alanlarının; çevresel sürdürülebilirliği desteklediğini ve kırsal kimliğin korunmasına katkı sağladığını göstermektedir. Sonuç olarak, kırsal turizmin uzun vadeli başarısı için peyzaj mimarlığının planlama, tasarım ve yönetim süreçlerine bütüncül bir yaklaşımla entegre edilmesi gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Kırsal turizm, Peyzaj mimarlığı, Sürdürülebilir peyzaj tasarımı.

THE ROLE OF LANDSCAPE ARCHITECTURE IN RURAL TOURISM AREAS

ABSTRACT

Rural tourism includes tourism activities in rural areas based on the principles of protecting and utilising natural and cultural resources. In this context, the discipline of landscape architecture has a critical role in the planning and design of rural landscape areas in terms of protecting natural resources, increasing spatial quality and sustainability of local identity. The aim of the study is to investigate the role of landscape architecture in rural tourism areas and to evaluate the contribution of landscape planning and design processes to rural tourism. In the study, a literature review on rural tourism and landscape architecture was conducted. The findings obtained show that rural tourism areas planned in line with the principles of landscape architecture support environmental sustainability and contribute to the protection of rural identity. In conclusion, for the long-term success of rural tourism, landscape architecture should be integrated into planning, design and management processes with a holistic approach.

Keywords: Landscape architecture, Rural tourism, Sustainable landscape design.

1. GİRİŞ

Turizm; bireylerin dinlenme, eğlenme, kültürel etkileşim, sağlık, spor, iş ya da akraba ziyareti gibi çeşitli amaçlarla, sürekli yaşadıkları yerin dışına çıkarak geçici süreyle konaklamalarını içeren; ekonomik, toplumsal ve kültürel boyutları olan çok yönlü bir faaliyet alanıdır (Olalı vd., 1983; Topay, 2003). Günümüzde turizm sektörü, ülkelerin ekonomik gelişimi ve toplumsal kalkınması açısından stratejik bir önem kazanmış ve küresel ölçekte vazgeçilmez sektörlerden biri haline gelmiştir. Bölgeler arasındaki gelişmişlik farklarının azaltılması, mevcut kaynakların daha verimli kullanılması ve turizm gelirlerinin artırılması hedefleri doğrultusunda turizm faaliyetlerine verilen önem giderek artmaktadır. Bu süreçte, turizmin hem ulusal ekonomi hem de yerel ve bölgesel ekonomiler üzerindeki katma değer sağlayıcı etkilerinin belirginleşmesi, alternatif turizm türlerine yönelik arayışları da hızlandırmıştır (Çelik Uğuz, 2013).

Turizm arz potansiyeli yüksek olan ve doğal, tarihi ile sosyo-kültürel değerlerini büyük ölçüde koruyabilmiş ülkeler, bu kaynakların planlı biçimde ve koruma-kullanma dengesi çerçevesinde değerlendirilmesine giderek daha fazla önem vermektedir. Bu yaklaşım, turizmde ürün çeşitliliğini artırmaya yönelik alternatif turizm türlerinin geliştirilmesini de beraberinde getirmektedir (Çeken vd., 2007).

Son yıllarda özellikle kent yaşamının yoğunluğu, maliyet artışı ve kıyı alanlarında yaşanan çevresel bozulmalar, şehirlerde yaşayan bireyleri kırsal alanlara yöneltmiştir. Kırsal alanlarda tatil yapma isteği; doğayla iç içe olma, farklı kültürleri tanıma ve yöresel etkinliklere katılma beklentileriyle birleşerek kırsal turizmin gelişimini hızlandırmıştır (Soykan, 2000).

Günümüzde kırsal turizm, tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak sürdürüldüğü bölgelerde, tarımın yanı sıra turizm sektörüne dayalı olarak gelişen alternatif bir turizm türü olarak öne çıkmaktadır. Uygulama alanına bağlı olarak çiftlik turizmi, köy turizmi, yayla turizmi ya da tarım turizmi gibi farklı kavramlarla ifade edilmektedir. Sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda ele alındığında kırsal turizm, doğal ve kültürel kaynakların korunmasını esas alan alternatif bir turizm yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır (Çeken vd., 2012). Kırsal alanlar ise, deniz turizmi merkezleri dışında kalan, kentsel yerleşimlerden uzak, kırsala özgü doğal ve kültürel yaşamın büyük ölçüde korunduğu ve kırsal faaliyetlerin sürdürüldüğü mekânlar olarak tanımlanabilir (Çeken vd., 2007). Bu alanlar, sahip oldukları etnik yapı, coğrafi özellikler, tarihsel birikim, özgün kültür ve doğal çevre sayesinde ziyaretçiler için kendine özgü bir çekicilik sunmaktadır. Bu yönüyle kırsal turizm, dünya genelinde hızla büyüyen turizm sektörünün yükselen alanlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Heneghan, 2002).

Kırsal turizm, sürdürülebilir turizm anlayışı ile en fazla uyum gösteren turizm çeşididir. Bu sebeple kırsal turizm, doğal ve kültürel mirasın korunmasında ve dünyaya tanıtılmasında önemli bir işleve sahiptir (Soykan, 2003). Sürdürülebilirlik, devamlılık gerektiren toplumsal, ekonomik veya ekolojik herhangi bir sistemin fonksiyonlarının kullanılan kaynaklara zarar vermeden ve bitirmeden aralıksız olarak devam etmesini öngören, hedefi yüksek verimlilik olan bir kavramdır (Kartal, 2009). Bu doğrultuda kırsal turizm, alternatifi olmayan ve insanlar tarafından üretilemeyen doğal kaynakların (özellikle su, toprak ve biyolojik çeşitlilik) korunmasını ve gelecek nesillere aktarılmasını temel alan bir yaklaşımı benimsemekte; bu yönüyle sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir.

Kırsal turizmin gelişimini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Kırsal turizm talebinin gelişimini etkileyen çeşitli faktörler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur (Uçar vd., 2010; Ahipaşaoğlu ve Çeltek, 2006; OECD, 1994; Soykan, 2000).

- Genel olarak turizm faaliyetlerinin yaygınlık kazanması
- Kültüre duyulan ilginin artması
- Kitle iletişim ve internet teknolojilerindeki gelişmeler
- Yöresel ve özel yemeklere artan ilgi
- Kırsal yörelerdeki samimi insan ilişkileri
- Ekolojik yaşam bilincinin artması
- Psikolojik sağlık etkeni
- Yaşlı ama aktif nüfusun artması
- Kırsal bölgelerde farklı eğlence alternatiflerinin varlığı
- Kırsal acentelerin faaliyetleri
- Kentlerde yaşayan insanların bir kısmının kırsal kökenli olması ve eski hayat tarzına geri dönme isteği duyması
- İnsanların çeşitli dini ve milli bayramlardaki tatillerini kırsal bölgelerde yaşayan eş dost ve akrabalarıyla geçirmeyi tercih etmesi
- Kırsal bölgeye özgü festivallerin ve şenliklerin ilgi uyandırması
- Kırsal turizmin bir kalkınma aracı olarak görülmesi
- Kırsal kökenlilik ve akrabalık ilişkileri
- Nostalji

Kırsal turizm kapsamında gerçekleştirilebilen aktiviteler Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Kırsal Turizm Kapsamında Etkinlik Türleri ve Yapılabilecek Aktiviteler (Çıkın, Çeken ve Uçar, 2009; Soykan, 2003).

Etkinlik Türleri	Kırsal Turizm Kapsamında Gerçekleştirilebilen Aktiviteler
Dış Mekân Rekreasyonu	Doğa yürüyüşleri (kır yürüyüşleri, trekking), yayla turizmi, kampçılık ve piknik, bisiklet ve atlı doğa turları, binicilik, doğal yaşam izleme ve fotoğrafçılık, kuş gözlemciliği, ücretli balıkçılık, kızak biniciliği, kayak ve kış sporları, av oyunları
Tarımsal Faaliyetler ve Agro-Turizm	Tarımsal faaliyetlere katılım (hasat, bağ–bahçe etkinlikleri), çiftlik turizmi, agro-turizm uygulamaları, kendin topla aktiviteleri, ağaç kiralama uygulamaları
Doğrudan Tarımsal Satışlar	Çiftlikte satış, yol kenarı stant satışları, tarımsal kökenli hediyelik ürünler
Eğitimsel ve Deneyimsel Etkinlikler	Okul turları, fidanlık ve bağ turları, tarımsal teknik kurslar, tarımsal fuarlar, ürün tanıtım programları, işletme turları (şarap işletmeleri, fabrikalar, egzotik üretim alanları vb.)
Barınma ve Konaklama	Çiftlik konaklamaları (yatak ve kahvaltı), binicilik tatilleri, öğrenci değişim programları, genç turist yurtları
Kültürel Etkinlikler ve Organizasyonlar	Yerel festival ve şenlikler, konserler ve özel etkinlikler, fuarlar, avcılık eğitimi
Diğer Etkinlikler	Tarihi ve kültürel değerleri ziyaret etme, üretici pazarları, atçılık ekipleri ve gösterileri, yerel gastronomi deneyimleri

Peyzaj, belirli bir bakış noktasından algılanabilen ve doğal ile kültürel unsurların birlikte oluşturduğu bütüncül bir görünümdür. Doğal peyzaj; insan müdahalesi olmaksızın oluşmuş doğal öğeler ile doğal süreçlerin meydana getirdiği yapıyı ifade etmektedir. Kültürel peyzaj ise, doğal çevrenin insan faaliyetleriyle biçimlendirilmesi sonucu ortaya çıkan alanları kapsamaktadır. Bu bağlamda kırsal peyzaj, kültürel peyzajın bir alt bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN), kültürel peyzajı; kültürel ve doğal kaynakları bir arada barındıran, tarihsel süreçler ve insan etkinlikleriyle şekillenmiş, estetik ve kültürel değerler taşıyan coğrafi alanlar olarak tanımlamaktadır (Gökalp ve Yazgan, 2013).

Kentsel peyzajlar; farklı ölçeklerdeki parklar, konut bahçeleri, kent ormanları, tarım alanları, çatı ve düşey bahçeler, yeşil koridorlar, hobi bahçeleri ile yol ağaçlandırmaları gibi çeşitli mekânsal düzenlemeleri içermektedir. Kırsal peyzajlar ise yerleşim alanları, tarımsal üretim sahaları, ağaçlandırma alanları, koruluklar ve doğal yeşil koridorlardan oluşmaktadır (Gül, 2000; Çetinkaya ve Uzun, 2014). Doğal çevre ile birlikte kültürel değerlerin bütünleştiği peyzaj yapıları, kırsal turizmin temel çekicilik unsurlarını oluşturmaktadır (Bollukcu ve Zevit, 2018).

Bu çalışma, kırsal turizmin sürdürülebilirlik temelli gelişiminde peyzaj mimarlığının rolünü ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, kırsal turizm kavramı, gelişimini etkileyen faktörler ve kırsal turizm kapsamında gerçekleştirilebilen etkinlikler literatür doğrultusunda ele alınmıştır. Çalışma, peyzaj planlama ve tasarım ilkelerinin kırsal turizm alanlarında çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, mekânsal kalitenin artırılması ve kırsal kimliğin korunması açısından taşıdığı önemi vurgulayarak, kırsal turizmin uzun vadeli başarısında bütüncül bir planlama yaklaşımının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın materyalini, kırsal turizm, peyzaj mimarlığı, kırsal peyzaj planlama ve sürdürülebilirlik konularında yayımlanmış ulusal ve uluslararası bilimsel çalışmalar oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında; kitaplar, hakemli dergi makaleleri, bildiriler, tezler ve ilgili kurum raporları incelenmiştir.

Çalışmada yöntem olarak nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Bu doğrultuda öncelikle kırsal turizm ve peyzaj mimarlığı ilişkisini ortaya koyan literatür taranmış, elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir. Literatür incelemesi sonucunda kırsal turizmin gelişimini etkileyen faktörler, kırsal peyzajın temel bileşenleri, peyzaj planlama ve tasarım ilkeleri ile sürdürülebilirlik kavramı çerçevesinde peyzaj mimarlığının rolü analiz edilmiştir. Elde edilen veriler betimsel analiz yöntemiyle yorumlanarak, peyzaj planlama ve tasarım süreçlerinin kırsal turizme olan katkıları bütüncül bir yaklaşımla ortaya konmuştur.

Son olarak literatürden elde edilen bulgular doğrultusunda kırsal turizm alanlarında peyzaj mimarlığının üstlendiği rol değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Dünyadaki gelişmeleri takip eden turizm sektörü, günümüzde çevresel kaynakların sürekliliğini sağlamayı amaç edinmiştir (Özbey, 2002). Kırsal turizm, sahip olduğu nitelikler nedeniyle çevresel ve kültürel değerlerle en yüksek uyumu gösteren turizm türleri arasında yer almakta ve olumsuz etkileri sınırlı düzeyde kalmaktadır. Konaklama faaliyetlerinin çoğunlukla kırsal

yerleşmelerde mevcut yapıların kullanılması yoluyla gerçekleştirilmesi, yoğun yapılaşma ve arazi tüketimi gibi çevresel sorunların ortaya çıkmasını engellemektedir. Ayrıca kırsal turizmin yılın farklı dönemlerinde gerçekleştirilebilmesi, turizm faaliyetlerinin belirli bir mevsimde yoğunlaşmasını önleyerek alanlar üzerindeki turistik baskının azalmasına katkı sağlamaktadır (Soykan, 2006). Çizelge 2'de kırsal turizmin ekonomik, sosyal, kültürel ve çevresel boyutlardaki etkileri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmektedir. Kırsal turizm faaliyetleri, yerel istihdamın artırılması, kırsal alanlardan kente göçün sınırlandırılması, gelir kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve kültürel mirasın korunması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Buna karşın, planlama ilkeleri gözetilmeden ve alanların taşıma kapasitesi dikkate alınmadan gerçekleştirilen turizm faaliyetleri; doğal ve kültürel değerler üzerinde baskı oluşturmakta ve kırsal kimliğin zayıflamasına neden olabilmektedir. Bu nedenle kırsal turizmin sağladığı ekonomik, sosyal ve kültürel kazanımların uzun vadede sürdürülebilmesi, planlama süreçlerinin etkin şekilde yürütülmesine ve peyzaj temelli sürdürülebilirlik ilkelerinin uygulanmasına bağlıdır.

Çizelge 2. Kırsal Turizmin Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Etkileri (Çeken vd., 2012'den uyarlanmıştır).

Etki Boyutu	Olumlu Etkiler	Olumsuz Etkiler (Plansız Gelişimde)
Ekonomik Etkiler	Kırsal istihdam artışı ve işsizliğin azalması Kırsaldan kente göçün azalması Tarım gelirlerinin çeşitlenmesi ve artması Yerel ürünlerin daha yüksek katma değerle pazarlanması Turistik yatırımlar ve yerel girişimciliğin gelişmesi Altyapı ve yaşam standartlarının iyileşmesi	Tarım alanlarının azalması Arazi ve gayrimenkul fiyatlarında spekülatif artış Yerel gelirlerin tarım dışı ve yöre dışı alanlara kayması Aşırı kapasite kullanımına bağlı ekonomik sürdürülemezlik
Sosyal Etkiler	Kır–kent yaşam farklarının azalması Kadınların ve gençlerin toplumsal konumunun güçlenmesi Mesleki bilgi ve becerilerin gelişmesi Yerel halk–turist etkileşimi ve sosyal bağların artması Yerel festivaller ve etkinliklerle toplumsal bütünleşme	Geleneksel yaşam biçimlerinin zayıflaması Otantikliğin kaybolması Aşırı kalabalık ve sosyal rahatsızlık Tüketim alışkanlıklarında olumsuz değişimler
Kültürel Etkiler	Kültürel mirasın korunması ve restorasyonu Geleneksel mimarinin yaşatılması Kültürel değerlerin tanıtımı ve farkındalık artışı Kültürler arası etkileşim ve zenginleşme	Kültürel değerlerin ticarileşmesi Yapay ve özgünlüğünü yitirmiş kültürel üretimler Yerel kimliğin zayıflaması
Çevresel Etkiler	Çevre bilincinin gelişmesi Doğal ve kültürel kaynakların korunmasına yönelik farkındalık	Ekosistem tahribatı Su kaynaklarının aşırı kullanımı Orman tahribi, erozyon ve biyolojik çeşitlilik kaybı Gürültü ve görsel kirlilik

Peyzaj planlama, peyzajı oluşturan bileşenlerin, işlevlerin ve özelliklerin belirlenmesi ile bu alanların korunması, iyileştirilmesi ya da yeniden düzenlenmesine yönelik uzun vadeli ve

süreklilik gösteren kararların geliştirilmesini içeren bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Uzun ve Yılmaz, 2009).

Kırsal peyzaj planlama ise; doğal çevre koşulları, geleneksel ve kültürel değerler ile tarım ve hayvancılık temelli ekonomik yapının hâkim olduğu köy yerleşimleri ve yakın çevresini kapsayan alanlarda, yaşayanların barınma, dinlenme, eğlenme ve ekonomik faaliyetlerini desteklemeye yönelik olarak doğal, sosyal, kültürel ve ekonomik değerlerin sürdürülebilir biçimde korunması ve geliştirilmesini amaçlayan çalışmaları kapsamaktadır (Cullotta ve Barbera, 2011). Günümüzde kırsal peyzaj planlama, kırsal alanların korunması ve bu alanlarda gerçekleşen insan faaliyetlerinin yönlendirilmesi açısından zorunlu bir araç haline gelmiştir. Özellikle kırsal alanların turizm potansiyelinin ortaya konulması ve kullanıcı gereksinimlerini karşılayacak nitelikli mekânların oluşturulması, kırsal peyzaj planlama sürecinin temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Altıner ve Kelkit, 2021).

Kırsal alanlar; sahip oldukları doğal ve kültürel peyzaj özellikleri, geleneksel yaşam biçimleri, topoğrafik yapıdan kaynaklanan yükselti ve eğim farklılıkları, ormanlar ve su yüzeyleri ile birlikte geleneksel sivil mimari, mitolojik, folklorik ve gastronomik değerler gibi kültürel unsurlar sayesinde kendine özgü bir karakter sergilemektedir. Bu özgün yapı, kırsal peyzaj planlama çalışmalarında kırsal turizmin önemli bir rol üstlenmesine neden olmakta ve kırsal turizmi bu alanların sürdürülebilir gelişiminde temel bir araç haline getirmektedir (Aref ve Gill, 2009).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye, sahip olduğu zengin tarihsel birikim, kültürel miras ve doğal peyzaj değerleriyle kırsal turizm açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin değerlendirilmesinde temel öncelik, doğal ve kültürel kaynakların sürekliliğinin ve korunarak gelecek kuşaklara aktarılmasının sağlanmasıdır. Kırsal ve tarımsal alanların uzun vadeli sürdürülebilirliği, bu alanlara yönelik planlama süreçlerinin doğru ve bilimsel temellere dayalı olarak yürütülmesine bağlıdır. Bu bağlamda, etkili ve nitelikli kırsal peyzajların oluşturulabilmesi, ancak sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda gerçekleştirilen peyzaj planlama ve tasarım çalışmalarıyla mümkün olabilmektedir (Gökalp ve Yazgan, 2013).

Türkiye'de kırsal turizmin etkin bir biçimde hayata geçirilebilmesi, sürdürülebilir bir anlayışla yönetilebilmesi ve uzun vadede devamlılığının sağlanabilmesi için plan, proje ve program süreçlerinde çok paydaşlı bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda turizm sektörü temsilcileri, kamu kurumları, sivil toplum kuruluşları, yerel yöneticiler, yerel halk ve üniversitelerde görev yapan turizm uzmanlarının sürece aktif olarak dâhil edilmesi büyük önem taşımaktadır (Soykan, 2006).

Kırsal alanlarda yürütülen turizm ve rekreasyon faaliyetleri; sosyal açıdan kırsal nüfus için tarım dışı yeni olanaklar sunmayı, ekolojik açıdan doğal çevrenin korunmasına yönelik farkındalık oluşturmayı, ekonomik açıdan ise kırsal bölgelerde yaşayanlar için alternatif gelir kaynakları yaratmayı amaçlamaktadır. Bununla birlikte kırsal turizm faaliyetleri hem kentlilerin hem de kırsal nüfusun doğanın fiziksel, biyolojik ve ruhsal değerlerine yönelik bilinç düzeylerinin artmasına katkı sağlayarak insan–doğa ilişkisini güçlendirmektedir (Pirselimoğlu, 2007).

Lane'e göre (2005), sürdürülebilir kırsal turizmin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi, çok amaçlı bir yaklaşımın benimsenmesine bağlıdır. Yalnızca ekonomik kazanımlara odaklanan ve

yeterli düzeyde doğa koruma etiğini içermeyen uygulamalar, kırsal turizmin uzun vadeli başarısını sağlayamamaktadır. Bu doğrultuda sürdürülebilir kırsal turizmin temel ilkeleri;
Yerli toplulukların kültür ve karakterini sürdürmek.
Peyzaj ve habitatları sürdürmek.
Kırsal ekonomiyi sürdürmek.
Başarılı ve kalıcı bir turizm endüstrisi sürdürmek olmalıdır (Üzümcü vd., 2015).
Kırsal turizm, turizm türleri içerisinde koruma yaklaşımını en fazla önceleyen uygulamalardan biri olup, çevresel ve kültürel değerlerin özgün nitelikleriyle birlikte ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle kırsal yerleşimlerde yapay müdahalelerden kaçınılması ve alanların doğal yapısının korunması büyük önem taşımaktadır (Soykan, 2003).
Kırsal alanları tatil amacıyla tercih eden ziyaretçilerin temel motivasyonunun doğal ve özgün yaşam biçimlerini deneyimlemek olduğu dikkate alındığında; su kaynaklarının, ormanların ve dağlık alanların kirlenmemesi, tarım ve hayvancılığa dayalı geleneksel üretim biçimlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda kırsal turizmin bir bölgede uzun süreli olarak varlığını sürdürebilmesi, doğal ve kültürel çevrenin korunmasına doğrudan bağlıdır. Avrupa'da birçok ülkede uygulanan ziyaretçi sayısının sınırlandırılması, konaklamaların rezervasyon sistemiyle gerçekleştirilmesi ve yoğunluğun kontrol altına alınması gibi uygulamalar, kırsal alanlarda aşırı kullanımın önüne geçmeyi amaçlayan temel koruyucu önlemler arasında yer almaktadır (Soykan, 2000).
Turoğlu'nun (2005) da vurguladığı üzere, planlama hedefleri ülke planları, bölge planları, imar planları ya da turizm planları gibi farklı amaçlara yönelik olarak şekillense de planlama süreçlerinde temel ilkeler değişmemektedir. Hangi amaç doğrultusunda yapılırsa yapılsın, tüm fiziksel planlama çalışmalarında yönlendirici nitelik taşıyan üç temel unsur belirleyici rol üstlenmektedir. Bunlar;

- Doğal ortam şartları (Jeoloji, jeomorfoloji, hidrografya, klimatik özellikler, toprak ve bitki örtüsü, vb.),
- Hedefler (Ülke, bölge, şehir, turizm, yatırım, sanayi, tarım, vb. amaçlı planlamalar),
- Kaynaklar ve imkânlar (sahip olunan bireysel ve ulusal her anlamdaki kaynaklar, sosyal ve kültürel değerler ve imkânlardır (Kiper vd., 2011).

Turizm amaçlı ya da farklı kullanım hedefleri doğrultusunda gerçekleştirilen tüm planlama çalışmalarında, doğal peyzaj özellikleri yönlendirici bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Kırsal yerleşimler, sahip oldukları doğal çevre ve özgün yerleşme dokuları sayesinde doğal bir çekiciliğe sahip olup, planlama süreçlerinde bu kırsal karakteri görünür kılacak, doğal ve kültürel kaynak potansiyelini destekleyici rekreasyonel kullanımlarla bütünleşen hedeflerin belirlenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, kırsal alanların barındırdığı doğal ve kültürel kaynakların ekolojik ilkeler doğrultusunda ele alınarak korunması planlama sürecinin temel öncelikleri arasında yer almalıdır. Bu bağlamda, herhangi bir alanın kırsal turizme açılmasından önce, söz konusu alanın doğal ve kültürel peyzaj özelliklerinin kırsal turizm faaliyetleri açısından taşıdığı potansiyelin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Kiper vd., 2011).
Kırsal turizmin gelişimi, kırsal alanlarda sunulan turizm arzının çeşitliliği ile doğrudan ilişkilidir. Kendine özgü doğal ve kültürel çekiciliklere sahip kırsal bölgelerde gerçekleştirilecek turizm faaliyetlerinin, alanın fiziksel yapısı ve taşıma kapasitesiyle uyumlu olması gerekmektedir. Bu durum, kırsal turizm uygulamalarının planlı ve denetimli bir

çerçevede yürütülmesini zorunlu kılmaktadır. Aksi halde, kırsal alanların özgün nitelikleri zamanla zarar görmekte ve bu alanlar kırsal turizm açısından sahip oldukları çekiciliği kaybedebilmektedir (Çeken vd., 2012).

Kırsal turizm faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bölgelerin çoğunlukla doğallığını büyük ölçüde koruyan ve ekolojik açıdan zengin alanlar olması, bu alanlarda uygulanacak faaliyetlerin başlamasından önce doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını esas alan ve koruma–kullanma dengesini gözeten planlama yaklaşımlarının benimsenmesini gerekli kılmaktadır.

Bilimsel temele dayanmayan, yeterince araştırılmamış, planlanmamış ve etkin biçimde yönetilmeyen kırsal turizm uygulamaları; mevcut ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere yol açmakta ve doğal ile kültürel kaynakların geri dönüşü zor biçimde zarar görmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı kırsal turizm uygulamalarının geliştirilebilmesi için önerilen alanların peyzaj potansiyelinin önceden değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Altıner ve Kelkit, 2021).

Bunun yanı sıra, sürdürülebilir kırsal turizm anlayışının yerleşebilmesi için yöre halkının bilinçlendirilmesi temel bir gereklilik olup, bu süreçte bilim insanlarının ve yetkili kurumların bilgilendirici ve yönlendirici çalışmaları önemli bir rol üstlenmektedir (Altıner ve Kelkit, 2021).

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, kırsal turizmin sürdürülebilir biçimde geliştirilmesinde peyzaj planlama ve tasarım süreçlerinin belirleyici bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Kırsal alanların doğal ve kültürel kaynak değerleri, turizm faaliyetleri açısından önemli bir potansiyel sunmakla birlikte, bu potansiyelin plansız kullanımı çevresel bozulmalara ve kırsal kimliğin zayıflamasına yol açabilmektedir. Bu nedenle kırsal turizmin uzun vadeli başarısı, ekolojik hassasiyetlerin gözetildiği, taşıma kapasitesine dayalı ve alan kullanım kararlarının bütüncül biçimde ele alındığı planlama yaklaşımlarına bağlıdır.

Peyzaj planlama sürecinde; doğal sistemlerin korunması, hassas ekosistemlerin zarar görmemesi ve mevcut kaynakların sürdürülebilir kullanımının sağlanması temel kriterler arasında yer almalıdır. Alanın fiziksel, biyolojik ve kültürel özelliklerine uygun kullanım kararlarının geliştirilmesi hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakta hem de kırsal turizmin neden olduğu baskıların sınırlandırılmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda taşıma kapasitesinin dikkate alınması, ziyaretçi yoğunluğunun kontrol altına alınması ve mekânsal kullanımın dengelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Peyzaj tasarımında ise açık alan düzenlemeleri, rekreasyon alanları ve doğal–kültürel elemanların entegrasyonu öncelikli tasarım bileşenleri olarak ele alınmalıdır. Yerel mimari dokuya, geleneksel arazi kullanım biçimlerine ve kırsal peyzaj karakterine uyumlu tasarım yaklaşımları, mekânsal kaliteyi artırarak kullanıcı deneyimini olumlu yönde etkilemektedir. Aynı zamanda kullanıcı–mekân ilişkisini güçlendiren, doğayla doğrudan temas kurmaya olanak sağlayan ve yerel yaşam biçimini görünür kılan düzenlemeler, kırsal alanların özgün kimliğinin korunmasına katkı sunmaktadır.

Yerel yönetimler ve planlamacılar açısından bakıldığında, kırsal turizm alanlarında yapılacak planlama ve uygulamaların disiplinler arası bir anlayışla ele alınması gerekmektedir. Peyzaj mimarlığı, bu süreçte doğal ve kültürel değerlerin korunması, mekânsal kararların yönlendirilmesi ve turizm faaliyetlerinin çevreyle uyumlu biçimde geliştirilmesi açısından önemli bir rehberlik sağlamaktadır. Ayrıca yerel halkın planlama sürecine dâhil edilmesi, kullanıcı ihtiyaçlarının doğru biçimde belirlenmesi ve yerel bilgi birikiminin değerlendirilmesi, uygulamaların başarısını artıran temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı kırsal alan tiplerinde peyzaj planlama ve tasarım kararlarının kırsal turizm üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi; kullanıcı deneyimi, mekânsal algı ve ekolojik sürdürülebilirlik ilişkilerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu tür çalışmalar, kırsal turizmin çevreyle uyumlu, yerel kimliği koruyan ve mekânsal kaliteyi yükselten bir kalkınma aracı olarak değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak peyzaj mimarlığı disiplini, kırsal turizm alanlarının sürdürülebilir biçimde planlanması, tasarlanması ve yönetilmesinde anahtar bir rol üstlenmektedir. Peyzaj mimarlığı; doğal ve kültürel peyzaj bileşenlerini bütüncül bir yaklaşımla ele alarak alan kullanım kararlarının ekolojik hassasiyetler doğrultusunda şekillendirilmesini, kırsal peyzaj karakterinin korunmasını ve mekânsal kalitenin artırılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda peyzaj planlama ve tasarım süreçleri, kırsal turizm faaliyetlerinin taşıma kapasitesiyle uyumlu biçimde yönlendirilmesine olanak tanıyarak, doğal kaynaklar üzerindeki baskının sınırlandırılmasına katkı sunmaktadır. Bu yönüyle peyzaj mimarlığı, kırsal turizmi yalnızca ekonomik bir kalkınma aracı olarak değil; çevresel sürdürülebilirliği, yerel kimliği ve kullanıcı deneyimini birlikte gözeten çok boyutlu bir planlama yaklaşımı olarak ele almakta ve kırsal turizmin uzun vadeli başarısında belirleyici bir disiplin olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

Ahipaşaoğlu, S., & Çeltek, E. (2006). *Sürdürülebilir Kırsal Turizm*. Gazi Kitapevi.

Altıner, F., & Kelkit, A. (2021). Peyzaj Potansiyelinin Kırsal Turizm Açısından Değerlendirilmesi: Göktepe (Karaman) Beldesi Örneği. *Bilge International Journal of Science and Technology Research, 5*(Özel Sayı), 13-19.

Aref, F., & Gill, S. S. (2009). Rural tourism development through rural cooperatives. *Nature and Science,* 7(10), 68-73.

Bollukcu, P., & Zevit, G. (2018). Polonezköy'de Kırsal Turizme İlişkin Değerlendirmeler. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20(3), 453-464.

Cullotta, S., & Barbera, G. (2011). Mapping traditional cultural landscapes in the Mediterranean area using a combined multidisciplinary approach: Method and application to Mount Etna (Sicily; Italy). *Landscape and Urban Planning*, 100(1-2), 98-108.

Çeken, H., Dalgın, T., & Çakır, N. (2012). Bir alternatif turizm türü olarak kırsal turizmin gelişimini etkileyen faktörler ve kırsal turizmin etkileri. *International Journal of Social and Economic Sciences*, *2*(2), 11-16.

Çeken, H., Karadağ, L., & Dalgın, T. (2007). Kırsal Kalkınmada Yeni Bir Yaklaşım Kırsal Turizm ve Türkiye'ye Yönelik Teorik Bir Çalışma, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 7(1): ss.1-14.

Çelik Uğuz, S. (2013). Sürdürülebilir Turizm Kapsamında Burhaniye'nin Alternatif Turizm Potansiyeli. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (24), 332-353.

Çetinkaya, G., & Uzun, O. (2014). Peyzaj planlama. Birsen Yayınevi, İstanbul, (s 219), 413-433.

Çıkın, A., Çeken, H., & Uçar, M. (2009). Turizmin Tarım Sektörüne Etkisi, Agro-Turizm ve Ekonomik Sonuçları. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, *15*(1 ve 2), 1-8.

Gökalp, D. D., & E. Yazgan, M. (2013). Kırsal Peyzaj Planlamada Agroturizm ve Agriturizm. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2013(1), 25-29.

Gül, A. (2000). Peyzaj-İnsan İlişkisi ve Peyzaj Mimarlığı, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi,* 1, 97-114.

Heneghan, M. (2002). Structures and Processes in Rural Tourism, *Rural Development Conference*.

Kartal, B. (2009). İstanbul'daki Tarihi Saray Bahçelerinin Peyzaj Mimarlığı Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

OECD, (1994). Tourism Strategies And Rural Development, Organisation For Economic Operation and Devolopment, Paris.

Olalı, H., Nazilli, S. S., Kırcıoğlu, E. N., & Sümer, M. (1983). *Dış tanıtım ve turizm*. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.

Özbey, F.R. (2002). Sustainable Tourism Development In Globalization Progress. Globalization and Sustainable Development, International Scientific Conference, Book:4, Varna/Bulgaristan 1-3, pp.135-150.

Pirselimoğlu, Z. (2007). Ekolojik Temelli Rekreasyon ve Turizm Planlama İlkelerinin Araştırılması: Trabzon İli Çalköyü Yayla Yerleşimi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Soykan, F. (2000). Kırsal turizm ve Avrupa'da kazanılan deneyim. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi,* 11(1), 21-33.

Soykan, F. (2003). Kırsal Turizm ve Türkiye İçin Önemi. *Ege Coğrafya Dergisi*, (12): ss. 1–13.

Soykan, F. (2006). Avrupa'da Kırsal Turizme Bakış Kazanılan Deneyim, II. Balıkesir Ulusal Turizm Kongresi, ss.72-73, (20-22 Nisan).

Topay, M. (2003). Bartın-Uluyayla Peyzaj Özelliklerinin Rekreasyon-Turizm Açısından Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Turoğlu, H. (2005). Fiziksel planlama ve coğrafi bilgi sistemleri. *Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 355- 368.

Uçar, M., Çeken, H., & Ökten, Ş. (2010). *Kırsal Turizm ve Kırsal Kalkınma (Fethiye Örneği)*, Detay Yayıncılık.

Uzun, O., & Yılmaz, O. (2009). Landscape assessment and development of management model for Duzce, Asarsuyu watershed. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 15 (1), 79-87.

Üzümcü, T. P., Çelik, A., Otar, S., & Hacıalioğlu, A. (2015). Kırsal alanların sürdürülebilir kırsal turizm amaçlı kullanılması Kocaeli-Kandıra Örneği. *International Journal of Social and Economic Sciences, 5*(2), 92-102.

EKO-BELLEK VE PEYZAJ MİMARLIĞI

Arş. Gör. Büşra KUTLU
Süleyman Demirel Üniversitesi
kutlubusra@sdu.edu.tr - 0009-0002-1985-9299

Arş. Gör. İlknur YAZICI
Bingöl Üniversitesi
iyazici@bingol.edu.tr - 0009-0003-9134-2654

ÖZET

Hızla değişen arazi kullanımı, kentleşme ve iklim krizi, peyzajların yalnızca fiziksel yapısını değil, geçmiş insan–doğa etkileşimlerinden biriken ekolojik ve kültürel bilgiyi de aşındırmaktadır. Bu durum, peyzaj planlama ve tasarım süreçlerinde geçmiş deneyimlere dayalı bilgi birikiminin yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışma, ekolojik bellek ve sosyo-ekolojik bellek kavramlarını peyzaj mimarlığı disiplini bağlamında ele alarak, bu kavramların kuramsal temellerini ortaya koymayı ve planlama ile tasarım süreçlerine sağlayabileceği katkıları tartışmayı amaçlamaktadır. Ekolojik bellek, ekosistemlerin geçmiş dinamiklerinden biriken biyotik ve abiyotik maddi ile bilgisel miraslar üzerinden ele alınırken; sosyal bellek, bilginin mekânsal, kurumsal ve kültürel taşıyıcılar aracılığıyla korunması ve aktarılması bağlamında değerlendirilmiştir. Bu iki yaklaşımın bütünleşmesiyle tanımlanan sosyo-ekolojik bellek, ekolojik ve toplumsal süreçlerin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan dinamik bir yapı olarak ele alınmakta ve peyzaj mimarlığında tasarım, planlama ve yönetim kararlarının geçmiş deneyimlerden öğrenmeye dayalı olarak yeniden yapılandırılmasına olanak tanıyan bütüncül bir çerçeve sunmaktadır. Çalışma, eko-bellek temelli yaklaşımların ekolojik restorasyon, iklim değişikliğine uyum ve kentsel dirençlilik bağlamında peyzaj mimarlığına önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. **Anahtar Kelimeler:** Eko-bellek, Sosyo-ekolojik bellek, Peyzaj mimarlığı

ECO-MEMORY AND LANDSCAPE ARCHITECTURE

ABSTRACT

Rapid changes in land use, urbanization, and the climate crisis are eroding not only the physical structure of landscapes but also the ecological and cultural knowledge accumulated through past human–nature interactions. This situation necessitates a re-evaluation of experience-based knowledge in landscape planning and design processes. This study addresses the concepts of ecological memory and social–ecological memory within the discipline of landscape architecture, aiming to reveal their theoretical foundations and to discuss their potential contributions to planning and design practices. Ecological memory is examined through the accumulation of biotic and abiotic material and informational legacies derived from past ecosystem dynamics, while social memory is evaluated in terms of the preservation and transmission of knowledge through spatial, institutional, and cultural carriers. Defined through the integration of these two approaches, social–ecological memory is conceptualized as a dynamic structure emerging from the interaction between ecological and social processes, offering a holistic framework that enables the reconfiguration of design, planning, and management decisions in landscape architecture based on learning from past experiences. The study demonstrates that eco-memory-based approaches have significant potential to contribute to ecological restoration, climate change adaptation, and urban resilience within the field of landscape architecture.

Keywords: Eco-memory; Social–ecological memory; Landscape architecture

1. GİRİŞ

Hızla değişen arazi kullanımı, iklim krizi ve ekosistem bozulmaları, peyzajların yalnızca fiziksel yapısını değil, aynı zamanda geçmiş insan-doğa etkileşimlerinden biriken ekolojik ve kültürel bilgiyi de aşındırmaktadır. Bu bağlamda, geçmiş insan–doğa etkileşimlerinden biriken bilgilerin yeniden görünür kılınması, sürdürülebilir peyzaj planlama ve tasarım süreçleri açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Peyzaj kavramının dinamik, sürekli değişen ve dönüşen bir yapıya sahip olmasının sebebi doğanın karmaşık ve kendiliğinden devam eden akışı ile insan etkilerinin birleşmesiyle ortaya çıkan bir dönüşüm sürecidir. Peyzajı oluşturan ve içinde yer alan geçmişten izler farklı dönem ve uygarlıkların sahip olduğu kültür ve miras bileşenleri, tarımsal veya kırsal peyzajlar, ulaşım koridorları, yarı doğal habitatlar ve kültürel peyzaj alanlarıdır (Kuşoğlu ve Erdoğan,2024). Peyzajdaki izler, insan ve doğa arasındaki etkileşim ile başlamakta; peyzaj bütünlüğü içinde insan gereksinimleri doğrultusunda tekrar eden kullanımlar çeşitli izler oluşturmaktadırlar (Kuşoğlu ve Erdoğan,2024).

Bellek, geçmiş olaylardan öğrenilmiş ve zihinde korunmuş olan bilgilerin yeniden üretilmesi ya da hatırlanması yetisidir. Karmaşık sistemlerde bellek, bir bozulma sonrasında sistemin yeniden örgütlenmesini destekleyerek öz-örgütlenme kapasitesinin ve dirençliliğin artmasına katkı sağlar (Folke ve ark., 2003). Farklı biyolojik, zamansal ve mekânsal ölçeklerde işleyen süreçler aracılığıyla çalışan ve bir bozucu etki sonrası yeniden yapılanmayı kolaylaştıran içsel bir bellek türünün ekolojik sistemlerde varlığı uzun süredir kabul görmektedir. Bununla birlikte "ekolojik bellek" terimi literatüre ancak 1992 yılında girmiştir (Padisak, 1992). Kavram daha sonra, "topluluğun ya da ekosistemin geçmişteki bozulmaları, mevcut durumunu ve gelecekteki yönelimini yansıtabilecek kalıntı kaynaklarda kodlanmış kapsamlı bir bilgi bütünü" olarak tanımlanmıştır (Sun ve ark., 2013).

Bu bilgi; biyotik ya da abiyotik, maddi ya da maddi olmayan nitelikte olabilir ve sistemin içinde ya da dışında bulunabilir (Bengtsson ve ark., 2003; Stallins, 2006; Schweiger ve ark., 2019; Clark, 2021). Söz konusu bilgi, ekolojik bellek taşıyıcıları aracılığıyla depolanır, değişime uğrar ve yeniden üretilir. Standartlaşmayı ve kavramsal açıklığı sağlamak amacıyla, bu taşıyıcılar üç grupta ele alınmaktadır: (i) yerel gen havuzları, sığınak alanları ve yapısal mirasları içeren bellek bankaları; (ii) koridorlar, yedek arazi yamaları ve geçirgen matrislerden oluşan mekânsal bağlantılar; ve (iii) türlerin göç, yayılma ve yaşam alanı dinamiklerini kapsayan hareketli bağlantılar (Andersson ve Barthel, 2016; McPhearson ve ark., 2016).

Yaşanmış geçmişlere ait deneyimleri bireysel düzeyin ötesinde depolayan ve toplumlar ile sosyal grupların davranışlarını biçimlendiren bellek çoğu zaman kolektif bellek olarak adlandırılmaktadır (Halbwachs, 1926 [1950]; Middleton ve Edwards, 1990; Coser, 1992; Gongaware, 2003; Rothstein, 2005) ve bu nedenle antropologlar, arkeologlar, ekologlar ve diğer araştırmacılar söz konusu olguyu açıklamak için sıklıkla sosyal bellek kavramına başvurmaktadır. Belleğin sadece toplumsal pratiklerde değil, aynı zamanda insan-doğa ilişkilerinde de merkezi bir rol oynadığını vurgulayan bu çalışmalar, kavramın ekolojik süreçlerle birlikte ele alınması gerektiğinin altını çizmiştir. Nitekim Barthel, Folke ve Colding (2010), sosyal ve ekolojik bileşenlerin birlikte işlediği durumlarda bu birikimi tanımlamak

üzere sosyal-ekolojik bellek (SEM) terimini kullanmakta ve SEM'in sosyal-ekolojik sistemlerin değişimle başa çıkma kapasitesini sağlayan kritik bir alt bileşen olduğunu belirtmektedir. Bu yaklaşım, belleğin yalnızca kültürel aktarımı değil, aynı zamanda ekosistemlerde biriken yapısal ve biyofiziksel izleri kapsaması nedeniyle, kolektif bellekten SEM'e uzanan daha bütüncül bir kuramsal çerçeve ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, eko-bellek kavramını peyzaj mimarlığı disiplini bağlamında ele almayı ve bu kavramın ekosistem dirençliliği ile mekânsal süreklilik üzerindeki rolünü kuramsal bir çerçevede tartışmayı amaçlamaktadır.

2. EKOLOJİK VE SOSYAL BELLEĞİN KAVRAMSAL TEMELLERİ

2.1. Ekolojik Bellek

Padisak (1992), ekolojik hafızayı, *"topluluğun geçmiş durumlarının ya da deneyimlerinin, güncel veya gelecekteki tepkileri etkileme kapasitesi"* olarak tanımlamıştır. Bu tanımın görece belirsiz olması, ekolojik hafızanın gerçekte neyi ifade ettiği ve nasıl ölçülebileceği konusunda literatürde farklı yorumların ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Schweiger ve ark. (2019) ise, Nyström ve Folke (2001) tarafından önerilen biyolojik miras (biological legacy) kavramını temel alarak, ekolojik hafızayı ekosistem ölçeğinde *"geçmiş dinamiklerden biriken abiyotik ve biyotik maddi ile bilgisel mirasların bütünü"* şeklinde tanımlamaktadır. Buna karşılık, Ogle ve ark. (2015) daha nicel bir yaklaşım benimseyerek ekolojik hafızayı *"öncül (antecedent) koşulların güncel süreçler üzerindeki etkisi"* olarak tanımlamış ve ekolojik hafıza süreçlerinden kaynaklanan örüntülerin belirlenmesine yönelik nicel bir çerçeve önermiştir.

Ogle ve ark. (2015) tarafından geliştirilen bu çerçeve, ekolojik hafızanın iki temel bileşenini tanımlamaktadır:

(i) Endojen hafıza, incelenen biyotik değişkenin geçmişteki değerlerinin yine aynı değişken üzerindeki etkisini ifade eder;

(ii) Ekzojen hafıza ise, bir ya da birden fazla dışsal sürücünün (external drivers) geçmişteki değerlerinin biyotik yanıt üzerindeki etkisini temsil eder.

Buna ek olarak, sürücü ya da sürücülerin yanıt üzerindeki eşzamanlı etkisi de nicel olarak hesaplanabilmekte; böylece ekolojik tepkileri yönlendirmede öncül koşulların mı yoksa eşzamanlı koşulların mı daha baskın olduğunun karşılaştırılması mümkün olmaktadır. Ogle ve ark. (2015) ayrıca ekolojik hafıza bileşenlerine ilişkin iki temel özelliği tanımlamaktadır: hafıza uzunluğu, öncül koşulların yanıt üzerinde anlamlı etki gösterdiği zaman aralığını; hafıza gücü ise bu koşulların yanıt üzerindeki etki büyüklüğünü ifade etmektedir.

Biyotik topluluk içerisinde, bozucu etkilere verilen tepkilere ilişkin özellikler bütünü, tarihsel bozucu etkilere yönelik evrimsel uyumların bilgisel mirası şeklinde ekolojik hafızanın bir bileşenini oluşturmaktadır. Yenilenme özellikleri belirli bir bozucu etki rejimiyle iyi uyum gösteren türler, tipik bir bozucu olayın ardından hızlı ve güçlü bir birey kazanımı avantajı elde etmektedir. Rekabetçi vejetasyonu ortadan kaldıran şiddetli, meşcere yenileyici yangınlar, sürgün verme yeteneğine sahip ya da tohum bankalarından hızlı biçimde yenilenebilen türleri avantajlı kılmaktadır (Pausas ve Keeley, 2014). Bu tür yangın rejimleri, özellikle serotini özelliğini seçilim yoluyla öne çıkarmakta ve böylece yangın sonrası bol ve hızlı yeniden kuruluşu güvence altına almaktadır (Lamont ve Enright, 2000).

Bu bağlamda, bir topluluk ya da popülasyonda bulunan türlere ait özelliklerin oluşturduğu bilgisel miras, ekosistemin bir bozucu etkiyle karşılaştığında benzer bir duruma geri dönebilmesini mümkün kılmaktadır. Özellikleri geçmişte gözlenen değişkenlik aralığı içinde kalan bozucu etkiler, geçmişte başarılı olmuş tür özelliklerinin sürdürülmesine eğilim göstererek, ekolojik dirençliliği destekleyen pekiştirici bir eko-evrimsel geri besleme mekanizması oluşturmaktadır.

Bireyler, propagüller ve diğer biyotik ile abiyotik kalıntılar, ekolojik hafızanın ikinci bileşeni olan maddi mirasları temsil eder ve bu miraslar geçmiş ekosistem koşullarına ilişkin bilgiyi geleceğe taşır (Franklin ve ark., 2000; Monger ve ark., 2015). Bu nedenle maddi miraslar, ekosistem dirençliliği açısından kritik öneme sahiptir ve aynı zamanda bilgisel mirasların sürekliliğini sağlayan bir aktarım kanalı işlevi görür. Örneğin, serotininin yaygın olması, yangın sonrasında ortaya çıkan yüksek miktardaki tohum varlığı yoluyla serotinli türlerin yangın sonrası baskınlığının sürdürülmesini sağlamaktadır (Lamont ve Enright, 2000).

Bu iki yaklaşım karşılaştırıldığında, Schweiger ve ark. (2019) ekolojik belleği peyzaj ölçeğinde yapısal ve tarihsel bir miras olarak ele alırken, Ogle ve ark. (2015) kavramı süreç temelli ve ölçülebilir bir çerçevede tanımlamaktadır.

Bu durum, peyzaj mimarlığında tasarım ölçeği ile analitik modelleme ölçeği arasında metodolojik bir ayrışmaya işaret etmektedir. Örneğin, tasarım ölçeğinde topoğrafya ve vejetasyon kalıntıları okunurken, analitik ölçekte iklimsel öncül koşulların nicel etkileri değerlendirilmektedir.

2.2. Sosyal Bellek

Bellek çoğu zaman toplumun temel dayanağı olarak görülür; bellek olmadan ne benlik duygusu ne de aidiyet oluşabilir. Sosyal bellek, bireylerin, toplulukların, toplumların ve kurumların geçmişteki olayları hatırlama ve bu deneyimlerden öğrenme kapasitesine karşılık gelir (Climo ve Cattell, 2002; Wilson, 2013). Anılar, topluluk içinde yalnızca kişisel hatırlamalar olarak değil, kolektif tarafından tamamen ya da kısmen üzerinde uzlaşılarak kurgulanmış olayların yorumlanmış biçimleri olarak korunur, dönüştürülür, yeniden canlandırılır ve aktarılır.

Topluluklara katılım, ortak (ve kimi zaman tartışmalı) tarihlerin, araçların, nesnelerin ve kavramların paylaşılmasını beraberinde getirir ve bu unsurlar, onları ortaya çıkaran pratiklerin ömrünü aşarak varlıklarını sürdürür. Bu tür bir katılım ise çeşitli sosyal bellek taşıyıcılarına dayanır:

(i) Alışkanlıklar ve rutinler: Uygulamaların taklit edilmesi, tohum, araç ve diğer nesnelerin değişimi, tekrar eden toplu buluşmalar ve törenler.

(ii) Sözlü gelenek: Diyaloglar, mentorluk programları, günlük konuşmalar, şarkılar ve danslar.

(iii) Kullanımdaki kurallar: Yazılı düzenlemeler, sosyal normlar, ahlaki ya da dini davranış biçimleri ve mülkiyet hakları.

(iv) Fiziksel biçimler/artefaktlar: Anıtlar, peyzaj öğeleri, araçlar, sanat eserleri ve edebiyat.

(v) Dış bellek kaynakları: Bilimsel bilgi, medya, internet ve daha geniş yönetişim süreçlerine entegre sosyal ağlar. (Andersson ve Barthel, 2016; Barthel ve ark., 2010).

Bu bellek taşıyıcıları, peyzajın hem fiziksel hem de yönetsel boyutlarında süreklilik sağlayan temel araçlar olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda sosyal bellek, yalnızca sözlü ve

davranışsal aktarım yoluyla değil; anıtlar, bahçeler, kültürel peyzajlar ve gündelik kullanım mekânları aracılığıyla da somutlaşmaktadır.

3. SOSYO-EKOLOJİK BELLEK

Toplumsal yaşantımızı yapılandıran, günlük hayatın kurallarını belirleyen sosyal alışkanlıklar ve toplumsal kurallar, yaşadığımız toplumun içerisinde bir hafıza oluşturur. Bu hafıza topluluk tarafından günlük yaşantıda kullanılırken yeni kuşaklara da aktarılarak nesiller boyu devam ettirilir. Literatürde, "toplumsal hafıza" veya "sosyal hafıza" kavramlarıyla tarif edilen bu kavram, toplumların davranışlarını etkileyen, geçmişte yaşamış toplulukların ve kültürlerin kolektif bilgi ve deneyimlerini tarifler (Barthel, Folke, ve Colding, 2010). SEM ise "sosyal hafıza" ve "ekolojik hafıza" kavramlarının her ikisini de içerir (Barthel ve ark. 2010).
Doğal kaynak yönetiminde SEM üzerine yapılan çalışmalar, bir ekosistemi ve onun dinamiklerini yönetmek için gerekli bilgi, deneyim ve uygulamaları; ayrıca bu bilginin zaman içinde bir grup insan arasında nasıl depolandığını, değiştirildiğini ve aktarıldığını konu almaktadır (Folke ve ark. 2003; Folke 2006; Barthel 2008; Barthel ve ark. 2010; Tidball ve ark. 2010).
Ekolojik sistemler ve bu sistemleri etkileyen doğal kaynak yönetim yaklaşımları dinamik bir yapı sergilemekte ve zaman içinde sürekli olarak değişmektedir. Bu değişimlere uyum sağlayabilmek, insan topluluklarının çevresel koşullardaki dönüşümlere paralel olarak davranışlarını ve uygulamalarını yeniden düzenlemesi ve bu uyum süreçlerini kuşaklar arası bilgi aktarımı yoluyla sürdürmesine bağlıdır. Değişen koşullara yanıt olarak geliştirilen adaptasyon süreçleri, toplumsal hafızada yer alan bilgilerin de güncellenmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda sosyo-ekolojik hafıza, geçmiş deneyimlere dayalı bilgileri içermekle birlikte, güncel gereksinimler doğrultusunda yeni bilgilerin eklenmesi ve işlevini yitiren bilgilerin elenmesiyle sürekli olarak dönüşen dinamik bir yapı göstermektedir (Menzies, 2006).
Sosyo-ekolojik bellek, ekolojik ve sosyal bellek bileşenlerinin basit bir toplamı değil; bu iki alanın karşılıklı etkileşimi sonucunda ortaya çıkan, yönetim pratikleri, mekânsal düzenlemeler ve ekosistem süreçleri üzerinden işleyen bütüncül bir sistemdir. Bu yönüyle sosyo-ekolojik bellek, peyzaj mimarlığında tasarım, planlama ve yönetim kararlarının geçmiş deneyimler üzerinden yeniden yapılandırılmasını mümkün kılan bir çerçeve sunmaktadır.

4. PEYZAJ MİMARLIĞINDA EKO-BELLEĞİN ROLÜ

Yaşanan mekânla ilişkili olarak bellek, somut mekânsal unsurlarla birlikte değerlendirildiğinde anlam kazanabilir. Avcıoğlu ve Akın'a göre (2017) belleğin zaman ve mekân bütünlüğü kentlerin tarihsel gelişiminde çok önemli bir yer tutmaktadır. Kent içinde geçmişle bağların somut tarihsel mekânsal unsurlarla kurulması kültürel kimliği güçlendirmekte ve yere ait olma duygusunu arttırmaktadır. Böylece geçmişle kurulan bağ geleceğin sürekliliğini de destekleyebilir (Butina Watson and Bentley, 2007; Güneş, 2017).
İnsanlık, kentsel merkezli yaşama doğru ilerlemektedir. Önümüzdeki birkaç on yıl içinde küresel nüfusun yaklaşık üçte ikisinin kentlerde yaşayacağı öngörülmektedir. Küresel çevresel sorunlarla başa çıkılmasına yönelik geniş tabanlı kamusal desteğin sağlanabilmesi, bireylerin doğa ile olan karşılıklı bağımlılıklarının farkına varmalarıyla yakından ilişkilidir. Çevre

psikolojisi alanındaki çalışmalar, ekolojik açıdan yoksullaşmış metropol alanların kent sakinleri arasında artan bir "çevresel kuşaklar arası amnezi" ye yol açtığını ortaya koymaktadır (Kaplan ve ark., 1998; Miller, 2005). Doğayla erken yaşlarda ve düzenli biçimde etkileşim kurmayan kentsel bireylerin, ekosistem hizmetlerinin korunmasına yönelik sorumluluk bilincini geliştirmeye yönelik duygusal motivasyonlar edinme olasılıklarının daha düşük olduğu belirtilmektedir (Kaplan ve ark., 1998; Rosenzweig, 2003).

Bu bağlamda, sürdürülebilirliğe yönelik planlama yaklaşımlarının kentsel peyzaj tasarımlarında yeşil alanları ciddi biçimde dikkate alması (Colding, 2007) ve kentlilerin yaşadıkları ve çalıştıkları mekânların doğayla anlamlı etkileşimler kurabilecekleri fırsatlar sunması gerektiği vurgulanmaktadır (Theodori ve ark., 1998; McDaniel ve Alley, 2005). Tahsisli bahçeler ya da topluluk bahçeleri gibi kolektif biçimde yönetilen kentsel bahçeler, bu tür mekânlara örnek teşkil etmektedir. Nitekim Birleşik Krallık'ta yapılan çalışmalar, bireylerin bahçelerinde mevsimsel olayları kaydederek iklim değişikliğini izlediklerini ve bu süreçte öğrenme deneyimleri kazandıklarını ortaya koymuştur (Lawrence, 2009); kırsal Fransa'da ise bahçelerin yerel ekolojiye ilişkin öğrenme alanları olarak işlev gördüğü belirlenmiştir (Crumley, 2002). Stockholm kentsel alanında yürütülen çalışmalarda, tahsisli bahçelerin verimli topraklar, çiçekler ve sebzeler üretmenin yanı sıra, tozlaşma ve zararlı kontrolü gibi ekosistem hizmetlerini sağlayarak daha geniş kentsel peyzaja yayılan etkiler yaratan, sosyo-ekolojik etkileşimlerin dinamik kütüphaneleri niteliğinde olduğu saptanmıştır (Barthel ve ark. 2010).

Söz konusu miraslar; güncel ekosistemlerin gözlemlenebilir özellikleri aracılığıyla temsil edilmektedir. Bunlar arasında, yerel ölçekte yok olmuş türlere ait kalıntı popülasyonlar ya da diasporlar, kaybolmuş ekolojik etkileşimlere yönelik davranışsal veya morfolojik uyumlar ve hatta belirli peyzaj karakteristikleri yer almaktadır (Peterson, 2002; Schafer, 2011; Johnstone ve ark., 2016; Blackhall ve ark., 2017; Genes ve ark., 2017). Bu gözlemlenebilir ve yarı durağan nitelikler, uzun dönemli ekosistem dinamiklerinin bir ürünü olduğundan, ekolojik hafıza kavramı; bir ekosistemin geçmişinin, megafaunanın (yeniden) sisteme kazandırılması gibi değişimlere verdiği tepkiler üzerindeki etkilerini incelemek açısından büyük önem taşımaktadır (Padisák, 1992; Peterson, 2002).

Ekolojik hafızanın her bir bileşeni, ekosistem tepkilerini farklı zamansal, mekânsal ve örgütsel ölçeklerde etkilemektedir. İzleyen bölümlerde, odaklanılan yeniden doğallaştırma ekosistemi içerisinde etkili olan ekolojik hafızanın içsel bileşenleri ile çevresel bağlamda varlık gösteren dışsal bileşenler birbirinden ayrılarak ele alınmaktadır (Schafer, 2009). Eko-bellek yaklaşımı, peyzaj tasarımında topoğrafya, toprak, kalıntı ve vejetasyon yapılarının yalnızca korunacak unsurlar değil, tasarım girdileri olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Bu yaklaşım, peyzaj mimarlığını korumacı bir disiplinden, geçmişten öğrenerek yönlendiren adaptif bir tasarım pratiğine dönüştürmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, ekolojik bellek ve sosyo-ekolojik bellek kavramlarının peyzaj mimarlığı disiplini bağlamında sunduğu kuramsal ve uygulamaya dönük potansiyeli ortaya koymayı amaçlamıştır. Literatür incelendiğinde, eko-belleğin ekosistemlerin geçmiş dinamiklerinden biriken biyotik ve abiyotik maddi ile bilgisel mirasları kapsayan bütüncül bir çerçeve sunduğu; bu çerçevenin özellikle ekosistemlerin bozulmalara verdiği tepkilerin anlaşılması, dirençliliklerinin

değerlendirilmesi ve restorasyon süreçlerinin yönlendirilmesi açısından güçlü bir açıklayıcı kapasiteye sahip olduğu görülmektedir. Bu yönüyle eko-bellek kavramı, peyzajın yalnızca mevcut durumuna değil, tarihsel süreçler boyunca şekillenmiş mekânsal, yapısal ve ekolojik izlerine odaklanması bakımından peyzaj mimarlığı açısından önemli bir kuramsal kazanım sunmaktadır.

Bununla birlikte, kavramın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Ekolojik belleğin bileşenlerinin çok ölçekli, çok katmanlı ve dinamik bir yapıya sahip olması, bu belleğin somut biçimde tanımlanmasını ve ölçülmesini güçleştirmektedir. Özellikle sosyal ve ekolojik bellek bileşenlerinin birbirinden kesin sınırlarla ayrılmasının mümkün olmaması, uygulamaya yönelik çalışmalarda kavramsal belirsizlikler yaratabilmektedir. Ayrıca, ekolojik belleğin tasarım ve planlama süreçlerine entegrasyonu konusunda literatürde henüz standartlaşmış yöntemlerin bulunmaması, bu yaklaşımın peyzaj mimarlığı pratiğinde yaygınlaşmasını sınırlayan bir diğer unsur olarak değerlendirilebilir.

Buna karşın, peyzaj planlama ve tasarım süreçlerinde bellek temelli bir yaklaşım benimsenmesi, disipline yenilikçi katkılar sunma potansiyeline sahiptir. Eko-bellek perspektifi, peyzajın yalnızca estetik ya da işlevsel bir tasarım nesnesi olarak değil, geçmiş insan-doğa etkileşimlerinin birikimini taşıyan dinamik bir sistem olarak ele alınmasını mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım; ekolojik restorasyon, iklim değişikliğine uyum, kentsel dirençlilik ve sürdürülebilir arazi kullanımı gibi güncel sorunların ele alınmasında, geçmiş deneyimlerden öğrenmeye dayalı daha adaptif ve bağlama duyarlı tasarım stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle kentsel peyzajlarda topluluk bahçeleri, anıtsal ağaçlar, kültürel peyzaj öğeleri ve yerel uygulamalar gibi bellek taşıyıcılarının tasarıma entegre edilmesi, hem ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini desteklemekte hem de toplumsal aidiyet ve çevresel farkındalığın güçlenmesine katkı sağlamaktadır.

Gelecek çalışmalar açısından bakıldığında, eko-bellek ve sosyo-ekolojik bellek kavramlarının peyzaj mimarlığı bağlamında daha derinlemesine ele alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle bellek taşıyıcılarının mekânsal olarak nasıl tanımlanabileceği, bu taşıyıcıların planlama ve tasarım süreçlerinde hangi göstergelerle değerlendirilebileceği ve eko-belleğin farklı peyzaj tiplerinde (kentsel, kırsal, yarı-doğal) nasıl işlediği üzerine yapılacak alan çalışmaları ve somut verilere dayalı araştırmalar literatüre önemli katkılar sunacaktır. Bunun yanı sıra, iklim değişikliği, hızlı kentleşme ve arazi kullanımındaki dönüşümler karşısında eko-belleğin adaptif kapasitesini inceleyen disiplinler arası araştırmaların artırılması, peyzaj mimarlığının sürdürülebilirlik ve dirençlilik hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

Andersson, E., & Barthel, S. (2016). Memory carriers and stewardship of metropolitan landscapes. Ecological Indicators, 70, 606–614. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.030

Avcıoğlu, S.S. ve Akın, O. (2017). Kolektif bellek ve kentsel mekân algısı bağlamında İstanbul Tuzla Köyiçi Koruma Bölgesi'nin mekânsal değişiminin irdelenmesi. Kent Araştırmaları Dergisi (Journal Of Urban Studies), 22 (8), 2017-2, 423-450.

Barthel, S., Folke, C., & Colding, J. (2010). Social-ecological memory in urban gardens—Retaining the capacity for management of ecosystem services. Global Environmental Change, 20(2), 255– 265. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.01.001

Bengtsson, J., Angelstam, P., Elmqvist, T., Emanuelsson, U., Folke, C., Ihse, M., Moberg, F., & Nyström, M. (2003). Reserves, resilience and dynamic landscapes. Ambio: A Journal of the Human Environment, 32(6), 389–396. https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.6.389

Blackhall, M., Raffaele, E., Parisis, J., Tiribelli, F., Morales, J. M., Kitzberger, T., Gowda, J. H. & Veblen, T. T. (2017). Effects of biological legacies and herbivory on fuels and flammability traits: a long-term experimental study of alternative stable states. Journal of Ecology 105, 1309–1322

Butina Watson, G. and Bentley, I. (2007). Identity by design. 298 sayfa, Oxford: Architectural Press.

Clark, J. N. (2021). Re-thinking memory and transitional justice: A novel application of ecological memory. Memory Studies, 14(4) 695–712. https://doi.org/10.1177/1750698020959813

Colding, J., 2007. 'Ecological land-use complementation' for building resilience in urban ecosystems. Landscape and Urban Planning 81, 46–55.

Coser, L.A., 1992. The revival of the sociology of culture: the case of Collective memory. Sociological Forum 7 (2), 365–373.

Crumley, L.C., 2002. Exploring venues of social memory. In: Climo, J.J., Cattell, M.G. (Eds.), Social Memory and History: Anthropological Perspectives. AltaMira Press, Walnut Creek, CA, USA.

Folke, C. (2003). Social-ecological resilience and behavioural responses, 242. In Individual and structural determinants of environmental practice (p. 226). https://doi.org/10.4324/9781315252377-9

Folke, C., Colding, J., & Berkes, F. (2003). Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. In Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change

Franklin JF, Lindenmayer DB, MacMahon JA, *et al*. 2000. Threads of continuity. *Conserv Biol Pract* 1: 8–16.

Genes, L., Cid, B., Fernandez, F. A. S. & Pires, A. S. (2017). Credit of ecological interactions: a new conceptual framework to support conservation in a defaunated world. Ecology and Evolution 7, 1892–1897

Gongaware, B.T., 2003. Collective memories and collective identities. Journal in contemporary Ethnography 32, 483–520.

Güneş, M. (2017). Yeşil altyapı kapsamında yeşil ağ planı ve kent kimliği etkileşiminin irdelenmesi: Ankara Cumhuriyet Dönemi sınırı örneği (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Halbwachs, M., 1926. On Collective Memory. University of Chicago Press, Chicago, USA, [1950].

Johnstone, J. F., Allen, C. D., Franklin, J. F., Frelich, L. E., Harvey, B. J., Higuera, P. E., Mack, M. C., Meentemeyer, R. K., Metz, M. R., Perry, G. L. W., Schoennagel, T. & Turner, M. G. (2016). Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. Frontiers in Ecology and the Environment 14, 369–378.

Kaplan, R., Ryan, R.L., Kaplan, S., 1998. With People in Mind: Design and Management of Everyday Nature. Island Press.

Kuşoğlu, S. E. H. E. R., & Erdoğan, E. L. M. A. S. 2024.TARİH, HAFIZA VE PEYZAJIN İZLERİ.

Lamont BB and Enright NJ. 2000. Adaptive advantages of aerial seed banks. *Plant Spec Biol* 15: 157–66.

McDaniel, J., Alley, K.D., 2005. Connecting local environmental knowledge and land use practices: a human ecosystem approach to urbanization in West Georgia. Urban Ecosystems 8, 23–38.

McPhearson, T., Haase, D., Kabisch, N., & Gren, Å. (2016). Advancing understanding of the complex nature of urban systems. Ecological Indicators, 70, 566–573. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.054

Menzies, C. R. (Ed.). (2006). Traditional Ecological Knowledge and Natural Resource Management. Lincoln, NE: University of Nebraska Press.

Middleton, D., Edwards, D., 1990. Collective Remembering. SAGE Publications, London, UK.

Miller, J.R., 2005. Biodiversity conservation and the extinction of experience. Trends in Ecology & Evolution 20, 430–434.

Monger C, Sala OE, Duniway MC, *et al*. 2015. Legacy effects in linked ecological-soil-geomorphic Sociology 63, 94–108.

Nyström, M., & Folke, C. (2001). Spatial resilience of coral reefs. *Ecosystems*, *4*(5), 406-417.

Ogle, K., Barber, J. J., Barron-Gafford, G. A., Bentley, L. P., Young, J. M., Huxman, T. E., ... & Tissue, D. T. (2015). Quantifying ecological memory in plant and ecosystem processes. *Ecology letters*, *18*(3), 221-235.

Padisak, J. (1992). Seasonal succession of phytoplankton in a large shallow lake (Balaton, Hungary)—A dynamic approach to ecological memory, its possible role and mechanisms. Journal of Ecology, 80, 217–230. https://doi.org/10.2307/2261008

Pausas JG and Keeley JE. 2014. Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems. *New Phytol* 204: 55–65.

Peterson, G. D. (2002). Contagious disturbance, ecological memory, and theemergence of landscape pattern. Ecosystems 5, 329–338

Rosenzweig, M.L., 2003. Win-Win Ecology: How the Earth's Species Can Survive in the Midst of Human Enterprise. Oxford University Press, UK.

Rothstein, B., 2005. Social Traps and the Problem of Trust. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Schafer, V. (2011). Remembering our roots: a possible connection between loss ofecological memory, alien invasions and ecological restoration. Urban Ecosystems 14,35–44

Schweiger, A. H., Boulangeat, I., Conradi, T., Davis, M., & Svenning, J. C. (2019). The importance of ecological memory for trophic rewilding as an ecosystem restoration approach. *Biological Reviews*, *94*(1), 1-15.

Stallins, J. A. (2006). Geomorphology and ecology: Unifying themes for complex systems in biogeomorphology. Geomorphology, 77(3-4), 207–216. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.005

Sun, Z., Ren, H., Schaefer, V., Lu, H., Wang, J., Li, L., & Liu, N. (2013). Quantifying ecological memory during forest succession: A case study from lower subtropical forest ecosystems in South systems of drylands. *Front Ecol Environ* 13: 13–19.

Theodori, G.L., Luloff, A.E., Willits, F.K., 1998. The association of outdoor recreation and environmental concern: reexamining the Dunlap-Heffernan thesis. Rural

Tidball, K. G., Krasny, M. E., Svendsen, E., Campbell, L., & Helphand, K. (2010). Stewardship, learning, and memory in disaster resilience. Environmental Education Research, 16(5-6), 591–609. https://doi.org/10.1080/13504622.2010.505437

COMPLEMENTARY ELEMENTS OF SPACE: FURNITURES

Prof. Dr., BANU KARAŞAH
Artvin Çoruh University,
banukarasah@artvin.edu.tr-ORCID ID: 0000-0001-5079-5313
Assoc. Prof. Dr., EMİNE TARAKCİ EREN
Artvin Çoruh University,
eminetarakcieren@artvin.edu.tr-ORCID ID: 0000-0002-5595-9505

ABSTRACT

Landscape architecture is a design discipline that creates more livable spaces within the framework of aesthetic, functional, and ecological principles. The space gains meaning through its defining and complementary elements. These defining and complementary elements are furnitures. Furnitures are landscape elements that enhance user comfort, facilitate social life, give identity to a space, and contribute to the space aesthetically, functionally, and ecologically. This study aims to evaluate student work produced at the end of the term within the scope of the Basic Design II course in the context of space and its complementary elements. Evaluations show that students have produced original and more livable spatial solutions in the context of space and its complementary elements. It has been determined that students produced different space forms for the same given area and also used covering elements, floor coverings, seating elements, and boundary elements in their designs as complementary elements of the space. Students have designed spaces that are visually appealing, psychologically satisfying, and functionally capable of providing seating, relaxation, shade, boundaries, and many other functions for users. One of the learning outcomes of the Basic Design II course is for students to be able to transform the elements and principles they learn in the course into space. As seen in this study, the course has achieved this goal. Through such applications carried out in studio environments, students are able to reinforce what they have learned and also have the opportunity to develop their creativity.

Keywords: Space, Furnitures, Basic design, Design elements and principles

1. INTRODUCTION

In the landscape architecture discipline, different spaces are designed according to user needs. Hasol (2012), in the Encyclopedic Dictionary of Architecture, defines space as an environment created within a confined void that separates humans from their physical surroundings to a certain extent, providing an action area open to perception and impression (Erbay and Ulusoy, 2021). These elements are the furniture that make the environment more comfortable for users, bring out creative details, enhance the quality of the space, and complete the space.

Furnitures are landscape elements that support and enhance basic functions such as sitting, sheltering, protection, transportation, guidance, lighting, communication, play, and sports in the urban or rural environment, in general or private recreational areas, serving as indicators of comfort and environmental quality, thereby facilitating social life and winning the approval of users (Başal et al., 1997; Aksu, 2015). Bulut et al. (2008) define architectural elements as qualities and objects that facilitate individual and social life within the urban fabric, enable communication between users, and give the space a specific functional and aesthetic meaning, vary in quality and quantity, and define and complete the space. (Kahveci and Göker, 2020.)

Furnitures are important in defining the space they occupy, establishing a connection between the city's past and future, enhancing the city's visual appeal and identity, contributing to the urban ecology, balancing the relationship between city dwellers and nature, improving the quality of life for city dwellers, and creating livable spaces (Sakal, 2007; Bayraktar et al., 2008; Kurt Konakoğlu and Çelik, 2023). Urban furniture gives users vitality and morale while adding liveliness to the spaces they occupy (Sakal 2007; Kurdoğlu and Çelik, 2016). Urban furniture plays an important role in the liveability and perception of a city. While city furniture has a different meaning and importance for users, it integrates with the city and becomes an element of the city. At the same time, reinforcing elements are tools that contribute to the formation of urban identity by creating linguistic cohesion among them (Sertkaya 2011; Kayahan, 2023). Urban furniture that gives cities their identity are elements that define the shared environment, possessing a defining, guiding, and informative quality and are related to infrastructure and are functional and visually appropriate. Furnitures are considered both as part of the human-vehicle-environment system and as cultural elements. On the one hand, each furniture has a defining feature as part of the built environment, a visual object quality for users, and a symbolic meaning for the city (Kuter and Kaya, 2019).

According to a classification based on their functions, furnitures include: floor coverings (concrete, stone, wood, asphalt, brick, etc.), seating elements (benches, chairs, group seating elements, etc.), lighting elements (road lights, area lights, etc.), signs and information boards (directional signs, location markers, information communication boards), barriers (deterrents, pedestrian and traffic barriers, etc.), water features (ornamental ponds, fountains, pumps, channels, fire hydrants, etc.), covering elements (stops, shelters, pergolas, etc.), sales units (kiosks, exhibition pavilions, snack bars, etc.), artistic objects (e.g., sculptures), and other objects (flagpoles, trash cans, mailboxes, public toilets, flower beds, ticket machines, bicycle parking spaces, clocks, parking meters, plant elements, etc.) (Yıldızcı, 2001; Aksu, 2015).

This study aims to examine the furnitures that add uniqueness to spaces and complement them through student projects.

2. MATERIAL and METHOD

The material for this study consists of six design products created at the end of the Basic Design II course. In the Basic Design I and II courses at the Department of Landscape Architecture, Faculty of Art and Design, Artvin Çoruh University cover the basic design elements and principles. One of the learning outcomes of the Basic Design II course is for students to be able to transform the elements and principles they have learned in the course into a space.

As part of the project, students were given a topic to work on. They were provided with a 15x40 cm area as their workspace. They were asked to design a space within this area. Students first conducted research on the concept of space and furnitures and generated design options. As a result of approximately four weeks of critiques from the course instructors, they produced their design products. A total of 43 student works were produced within the scope of the course. Six products with different functions were examined within the scope of the study.

These design products have been examined according to the spatial configurations, the functions of the furnitures, the types of use, and the design elements and principles employed; the evaluations are presented in tables.

3. RESULTS

Each student has produced a formally different space design. They have designed furnitures with different shapes, functions, and types of use as complementary elements for the space with an open action area.

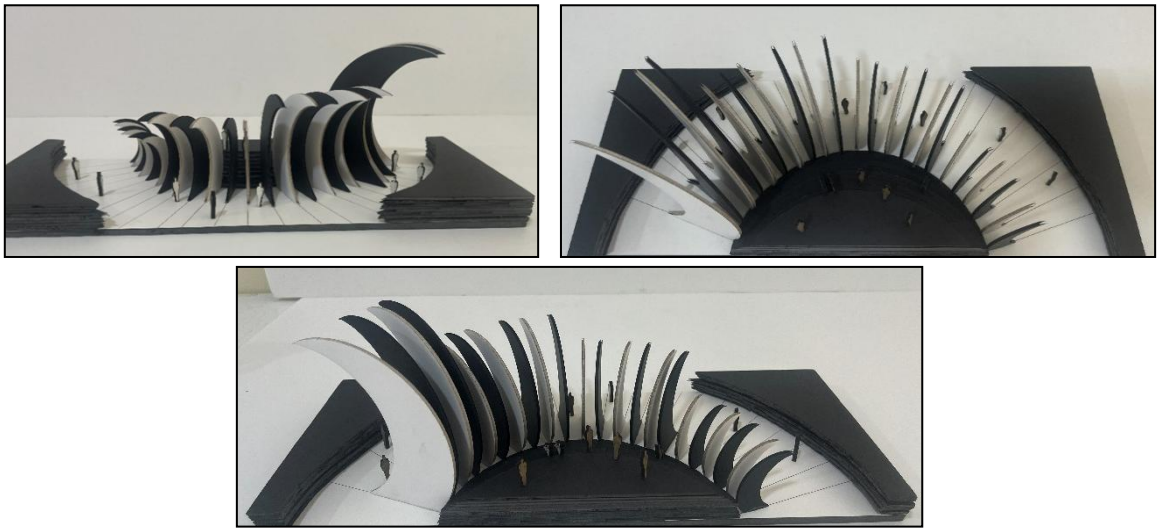
In the products examined within the scope of the study, students used floor coverings, seating elements, covering elements, and boundary elements as furnitures.

Floor coverings are hard surfaces in public areas that are deliberately created using natural or artificial materials in accordance with design objectives (Booth, 1983). Seating units are used to meet the need for actions such as resting, waiting for someone, chatting, or simply passing time in public spaces, to create social spaces in the city, and to gather people in a desired location. Covering elements are used in public areas, parks, and recreational areas to reduce the effects of sun and wind in seating and picnic areas. They are suitable for covering large areas, creating bright spaces, and giving spaces a different look or colour, and are usually designed in conjunction with seating units (Akyol, 2006). Boundary elements ensure that people's interactions with their surroundings in public spaces are controlled. The primary purpose of boundary elements is to ensure privacy, safety, security, aesthetics, boundary demarcation, speed, and circulation control in public spaces (Akyol, 2006; Çelik, 2015; Kurt Konakoğlu and Çelik, 2023).

The student has designed a circular space within the rectangular study area given. She has used floor coverings, seating elements, covering elements, and boundary elements as complementary elements of the space. She has used rays emanating from a circular form in the floor coverings to define the space. Again, the student has designed an aesthetic covering element of varying heights from floor coverings. She has made use of line, form, and colour elements in designing the space. The student has made the space more distinct by using the principle of contrast in colour. She has also used the principle of contrast in the colours and dimensions of the cover element, as well as the principle of irregular dimension gradation in its dimensions. She has designed black walls as the boundary of the space. Additionally, seating elements in the form of steps have been designed on the back of the cover elements. Student have been designed the

furnitures to be functional and suitable for temporary and long-term use. All furnitures used by student are compatible with the space both formally and functionally (Table 1).

Table 1. The first student's design

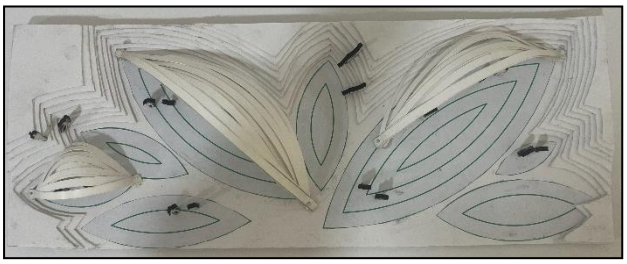
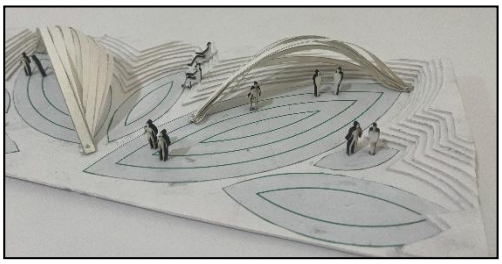
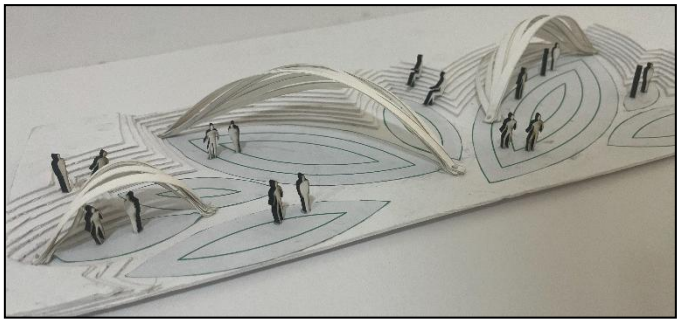
Design	**Designer:** Rabia Sökmenci
	
Furnitures by Functions	**Furnitures by Type of Use**
Covering elements	Long-term, functional
Floor coverings	Temporary, functional
Seating elements	Long-term, functional
Boundary elements	Long-term, functional

The student has designed the space using multiple oval shapes of different sizes within the same study area. Floor coverings, seating elements, covering elements, and boundary elements were used as complementary elements for the space. The student has designed aesthetic covering elements compatible with floor coverings. With its coverings and spaces, it has captured the mass-void balance visually in 2 and 3 dimensions. She used the principle of harmony in color and form, and the principle of contrast in scale. She used topography as boundary elements. The topography surrounding the spaces has also been considered as a seating element. Student have been designed the furnitures to be functional and suitable for temporary and long-term use. All furnishings used by students are compatible with the space both formally and functionally (Table 2).

The student has designed trapezoidal spaces in the given study area. The dominant element in his work is the covering element. He has approached his work as a covered space. He also used the covering element as a boundary element. He designed a covering element that is both aesthetic and functional. By creating gaps in the covering element in certain places, it has ensured air circulation and brought sunlight into the interior, while also combining different materials to create an aesthetic appearance. In his work, he has used square-shaped floor coverings. While designing seating elements in the form of contrasting steps with the floor coverings, he has designed a covering element that is compatible with the seating elements. He designed student the furnitures to be functional and suitable for temporary and long-term use. All furnitures used by students are functionally compatible with the space (Table 3).

Table 2. The second student's design

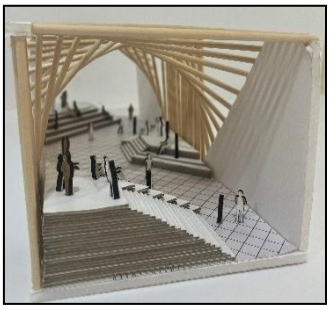
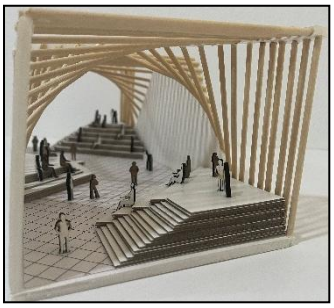
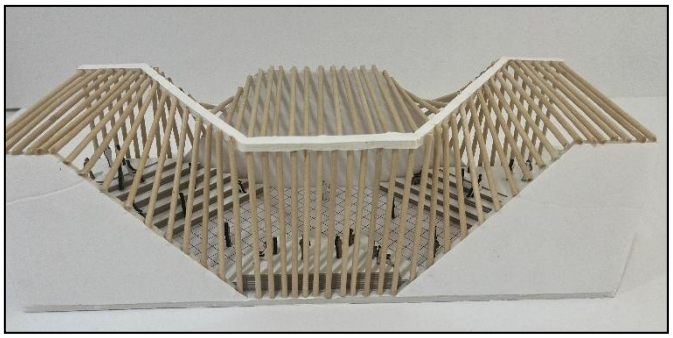
Design	**Designer:** Ekin Sude Kaplan

Furnitures by Functions	**Furnitures by Type of Use**
Covering elements	Long-term, functional
Floor coverings	Temporary, functional
Seating elements	Long-term, functional
Boundary elements	Long-term, functional

Table 3. The third student's design

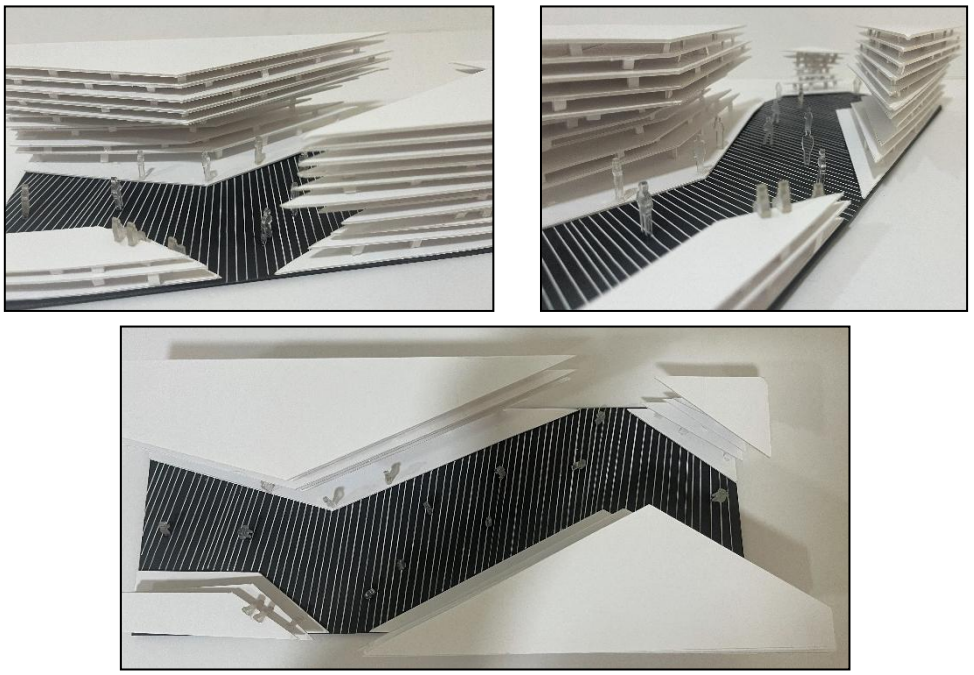
Design	**Designer:** Yasin Arda Okuyucu

Furnitures by Functions	**Furnitures by Type of Use**
Covering elements	Long-term, functional
Floor coverings	Temporary, functional
Seating elements	Long-term, functional
Boundary elements	Long-term, functional

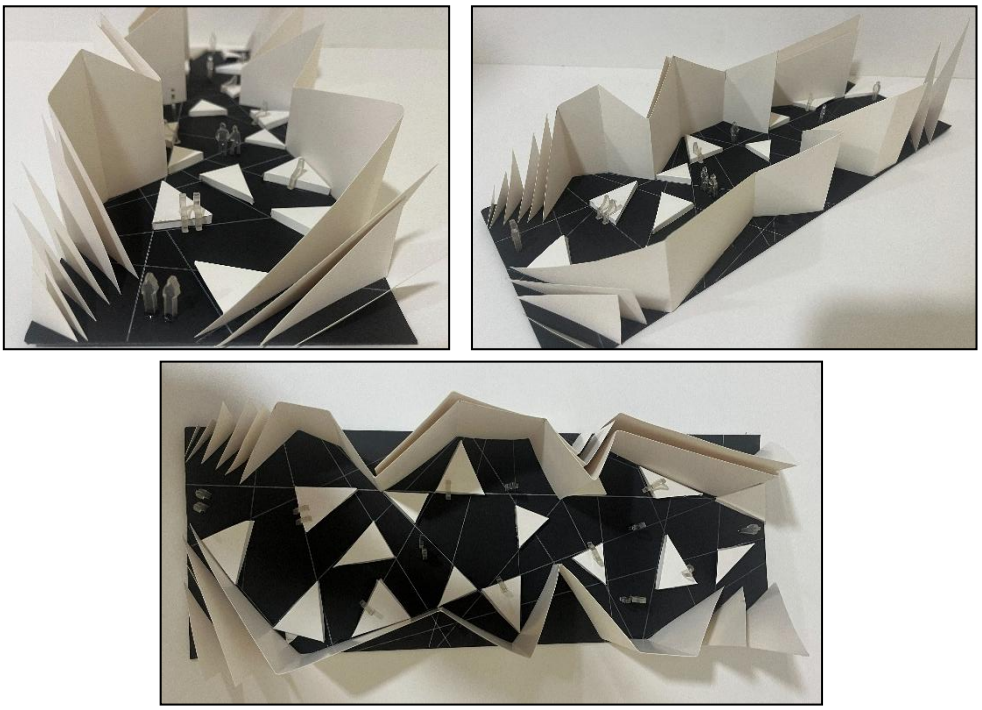
In the fourth student project, the spaces were designed in triangular shapes. She used floor coverings, seating elements, and boundary elements as complementary elements of the space. She has used lines in the floor coverings. She has made the space more distinct by using the principle of contrast in colour. As a boundary element for the spaces, she designed boundary elements in contrasting colours and varying heights to complement the floor coverings. These boundary elements have sometimes been a structure and sometimes a seating element. The seating elements are designed in the form of steps. The floor coverings contrast with the boundary elements and seating elements. Student are designed the furnitures to be functional and suitable for temporary and long-term use. All furnitures used by students are functionally compatible with the space (Table 4).

Table 4. The fourth student's design

Design	**Designer:** Gözde Yıldırım
	
Furnitures by Functions	**Furnitures by Type of Use**
Floor coverings	Temporary, functional
Seating elements	Long-term, functional
Boundary elements	Long-term, functional

In the student's work, the design elements of line, form, scale, and colour have been used. She used triangular shapes when creating her spaces. She also created these shapes from lines. Floor coverings, seating elements, and boundary elements were used as complementary elements of the space. In the study area, the floor coverings were created with white lines on a black background. The boundary elements, however, were designed to be in harmony with the lines of the floor coverings but contrasting in colour. The boundary elements have been created as exhibition walls at different heights. Seating elements with shapes compatible with the floor coverings have been designed in contrasting colours to make them more prominent. Student have been designed the furnitures to be functional and suitable for temporary and long-term use. All furnitures used by students are compatible with the space both formally and functionally (Table 5).

Table 5. The fifth student's design

Design	**Designer:** Sevilay Kurt
	
Furnitures by Functions Floor coverings Seating elements Boundary elements	**Furnitures by Type of Use** Temporary, functional Long-term, functional Long-term, functional

In the final example examined in this study, the student designed a rectangular covered space. She used floor coverings, border elements, and covering elements as complementary elements of the space. By using the principle of contrast in the colours of the floor coverings, border elements, and covering elements, she made the space and its elements more distinct. She designed the floor coverings with black and white lines. She designed an aesthetic covering element that complements the floor coverings. By using the covering element at different heights and widths, she created a sense of depth in the space. The covering element has been designed to serve multiple functions. It has been designed to act as both a boundary element and an exhibition wall, as well as to protect the users of the space from factors such as sun, rain, and wind. Student have been designed the furnitures to be functional and suitable for temporary and long-term use. All furnitures used by students are compatible with the space both formally and functionally (Table 6).

Table 6. The sixth student's design

Design	**Designer:** Sedanur Demir
	
Furnitures by Functions	**Furnitures by Type of Use**
Floor coverings	Temporary, functional
Seating elements	Long-term, functional
Boundary elements	Long-term, functional

4. CONCLUSION

Design is a purposeful action guided by design requirements. A space, which is a limited area design, gains meaning through its complementary elements. These complementary elements can sometimes be functional items and sometimes decorative objects. With their original designs, they can create both a visually satisfying and psychologically soothing effect.

In this study, students were asked to create unique spaces with identity for the given area. In line with this, students designed different spatial forms for the same space, along with the defining elements of the space: floor coverings, seating elements, boundary elements, and covering elements. While designing the spaces and their complementary elements, they applied the elements and principles they learned in the Basic Design I and II courses. Students designed floor coverings that were both harmonious (4 students) and contrasting designs (2 students) with the spaces. Four students designed aesthetic covering elements. In addition to being aesthetically pleasing, the covering elements also fulfilled the functions of demarcation, emphasis, creating sheltered spaces, and adding a third dimension to the space. Boundary elements were used by all students; some students designed them as walls and exhibition walls, while others considered the structure and topography as boundary elements. All students designed seating elements in the form of steps where more people could gather, interact socially, and relax. Each student gave their spaces identity with the complementary elements, resulting in unique designs. They have also designed the space to be comfortable for users, memorable, informative, guiding, and to contribute to the aesthetic quality of the environment.

This study shows that students can transform the elements and principles they learn in class into space, thereby achieving one of the learning outcomes of the Basic Design II course. Furthermore, it is believed that the knowledge gained in this course will also contribute to future project courses. Conducting such applications in studio environments helps students reinforce what they have learned and develop their creativity.

ACKNOWLEDGE

We would like to thank the students who shared their work in the research.

REFERENCES

Aksu, Ö.V., Korunan Doğal Rekreasyon Alanlarında Donatı Elemanlarının Tasarımları: Altındere Vadisi Milli Parkı Örneği, Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 15, 2, 267-278, 2015.

Akyol, M., *Kent Mobilyaları Tasarım ve Kullanma Süreci*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006.

Başal M., Memlük Y., Yılmaz O., Kurum E., *Peyzaj Konstrüksiyonu*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1484, Ankara, 1997.

Bayraktar, N., Tekel, A., Ercoşkun, Ö.Y., Ankara Atatürk Bulvarı Üzerinde Yer Alan Kentsel Donatı Elemanlarının Sınıflandırılması, Değerlendirilmesi ve Kent Kimliği İlişkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 1, 105-118, 2008.

Booth, K.N., *Basic Elements of Landscape Architectural Design*, Waveland Press Inc., New York, 1983.

Bulut, Y., Atabeyoğlu, Ö., Yeşil, P., Erzurum Kent Merkezi Donatı Elemanlarının Ergonomik Özelliklerinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Tarım Bilimleri Dergisi, 14, 2, 131-138, 2008.

Çelik, K. T., *CBS Tabanlı Bir Yerleşke Donatı Bilgi Sisteminin (YEDBİS) Oluşturulması: Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Yerleşkesi Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2015.

Erbay, M., Ulusoy, S., Sences in the Interiors: An Example of Entrance Spaces at Hospitals, Journal of Interior Design and Academy, 1, 2, 62-81, 2021.

Hasol, D., *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, Yem Yayınları, İstanbul, Türkiye, 2022.

Kahveci, H., Göker, P., Kent Mobilyaları Tasarım Dersi Stüdyo Çalışması; Üst Örtü-Oturma Birimi ve Piknik Donatısı Tasarımı, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 22, 3, 693-707, 2020.

Kayahan, K., Marka Kent Olma Yolunda Kent Mobilyası Tasarımı ve Uygulaması: Bartın İli Örneği, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 25, 1, 9-18, 2023.

Kurdoğlu, B. Ç., Çelik K. T., Yerleşke Donatı Bilgi Sistemi (YEDBIS) Oluşturulması Üzerine Bir Çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17, 1, 11-20, 2016.

Kurt Konakoğlu S. S., Çelik K. T., Amasya Üniversitesi Yeşilırmak Yerleşkesinde yer alan donatı elemanları üzerine bir çalışma. Turkish Journal of Landscape Research, 6, 1, 33-46, 2023.

Kuter, N., Kaya, Z., Kentsel Donatı Elemanlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi: Çankırı Örneği, Bartın Orman Fakultesi Dergisi, 21, 1, 81-96, 2019.

Sakal, A. N., *Ankara'da Kentsel Donatıların Peyzaj Planlama Ve Tasarımı Açısından Analizi Ve Değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.

Sertkaya, İ., *Kent Meydanları: Adana 5 Ocak Meydanı Örneği Üzerine Bir İrdeleme*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2011.

Yıldızcı, A. C., Kent Mobilyaları Kavramı Ve İstanbul'daki Kent Mobilyalarının İrdelenmesi, I. Uluslararası Kent Mobilyaları Sempozyumu, İstanbul, 29-40, 9-11 Mayıs, 2001.

FORM EXPRESSIONS VIA LINEARITY AND EFFECTIVE ENVIRONMENT: BASIC DESIGN STUDIO EXPERIENCE

Prof. Dr., BANU KARAŞAH
Artvin Çoruh University,
banukarasah@artvin.edu.tr-ORCID ID: 0000-0001-5079-5313
Assoc. Prof. Dr., EMİNE TARAKCİ EREN
Artvin Çoruh University,
eminetarakcieren@artvin.edu.tr-ORCID ID: 0000-0002-5595-9505

ABSTRACT

The inquiry-based basic design addresses the grammar of visual language, and a constructivist approach is adopted in this course conducted in studio environments. This course, conducted by the Department of Landscape Architecture at Artvin Çoruh University's Faculty of Art and Design, aims to help students develop their design language, contribute to their creativity, and ensure that they apply the basic design elements and principles learned in this course to their project. One of the aims of the landscape architecture discipline is to create more livable spaces for people. These spaces have specific formal or informal forms. These forms are expressed in different ways. The study aims to examine the forms created through linearity and effective environment. The material of the study has consisted of five linear forms and five effective environmental forms produced by the students during the course. The study describes the materials used by students in producing these works, as well as the basic design elements and principles. The hypothesis that there is no single correct in design has also been proven by the designs created by the students. Students have created their designs using different materials, elements, and principles. Conducting the basic design course using a constructivist approach has contributed to students' creativity.

Keywords: Basic Design, Form Expressions, Linearity, Effective Environment

1. INTRODUCTION

Design is defined as a production activity that aims to bring aesthetic harmony to the environment based on human creativity, ranging from everyday objects, furniture, architecture, and landscape to urban planning (Hasol, 2022; İsmailoğlu and Bayram, 2024). Schön (1981) interprets design as a graphic and verbal language game in which drawing and speaking complement each other and are inextricably linked (Yıldırım and Ülkeryıldız, 2023).

The basic design concept that emerged at the Bauhaus has had a lasting impact on design education. Many art schools and design programs, particularly in the 1960s, adopted a curriculum modelled on the Bauhaus and its basic design concepts (Houghton, 2016). The experimental work of the Bauhaus, particularly the "Fundamentals of Design" course taught by Johannes Itten, influenced modern design education by aiming to provide students with a comprehensive understanding of design elements such as line, form, color, and texture, as well as the principles of composition and visual perception (Cross, 1990; Ekmekçioğlu, 2024). Basic design is not a method but a mental attitude; it is not a new art form but a form of inquiry (De Sausmarez, 1983; Yıldırım and Ülkeryıldız, 2023).

The Basic Design course, which covers the grammar of visual language, is a course that adopts a constructivist approach and is conducted in studio environments. Ünver (2021) stated that the constructivist learning approach provides a suitable ground for achieving these goals because it centers the learner and creates experiential environments for knowledge construction. Learning by doing in a studio environment helps students fully understand design problems and generate solutions, contributing to their development of more creative and artistically free, productive, and multifaceted awareness, as well as their thinking skills (İsmailoğlu and Bayram, 2024).

Basic design education aims to teach students design elements and principles, as well as to help them develop a design language. Atalayer and Üstün (2000) state that the structure of these courses, which aim to train creative individuals, is not based on a technical curriculum, but rather on "visual perception-knowledge, thought, mental structuring of aesthetic animation-simulation, the process of discovery-inspiration-creativity, the development and enhancement of hand-eye-brain skills, and the activation of dream-imagination-intuition powers." (Balaban Varol and Varol, 2023). Seylan (2019) discuss the aim of the Basic Design course is to confront students with problems, thereby developing analytical analysis, divergent (divergent) thinking, intuitive approaches to problem solving, and concentration skills, thereby enabling them to develop original methods for creative problem solving and to understand the functioning of their own emotional and cognitive processes (Ekmekçioğlu, 2024). At the Basic Design Studio, students' rigid memory codes are first challenged and dismantled, and then their free thinking, continuous learning, attitudes, and behaviors are structured to enable them to create original designs (Ünver, 2021).

This study aims to evaluate 10 design products created in a studio environment through a master-apprentice relationship in the Basic Design-II course.

2. MATERIAL and METHOD

The material for this study consists of 10 student works produced in the Basic Design II course within the scope of form expressions.

The basic design course in the Department of Landscape Architecture at Artvin Çoruh University, Faculty of Art and Design is conducted over two semesters under the names Basic Design-I and Basic Design-II. In the Basic Design I course, students learn about basic design elements such as line (straight, curved, diagonal), form, size, colour (warm-cool), and texture (soft-hard), as well as the basic design principle of dominance-unity-balance. Practical exercises related to each element and principle are carried out in the studio environment. At the end of the term, students are expected to create a design product using all the design elements and principles (Figure 1).



Figure 1. Some student works produced in the Basic Design-I course (Straight line, curved line, hard texture, warm colour, cool colour, unity, dominance-unity-balance, end-of-term project)

In the Basic Design II course, concepts such as repetition (complete, cyclical), hierarchy (axial, central), depth expressions (overlay, transparency, size gradation (regular, irregular)), linearity, and effective environment are explained, practical exercises are carried out, and finally, students are asked to evaluate the concepts within the framework of the concept of space (Figure 2).



Figure 2. Student work produced in the Basic Design-II course (Full repetition, cyclical repetition, central hierarchy, covering, transparency, size gradation, linearity, effective environment, end-of-term project (spatial design))

Kanlı (1993) stated that form expressions are created in 3 ways: Depth, Effective Environment and Linearity. Within the scope of this study, 10 student works produced through linearity and effective environment from form expressions were evaluated. This type of expression, created by lines without losing their linear identity and producing a mass effect, is called linearity (Kanlı, 1993). The effect environment becomes more effective, and its perceptibility increases when forms are defined by contour lines.

The products evaluated in the study also include explanations regarding the materials, design elements, and principles used by the students.

3. RESULTS

Detailed explanations regarding the samples examined within the scope of the study are given in Figures 3-12.

Form Expressions via Linearity

Students used materials such as canvas, needles, ropes of different thicknesses, beads, mirrors, etc. to create their linear form expressions.

In the student's work, she used ropes and needles on the female figure in the image to reveal the form through linearity. She uses the principle of colour contrast with black ropes on a white background. She used harmony in the shapes he created by intersecting lines with ropes, and the principle of contrast in the sizes. The student achieved an asymmetric balance in her study by adapting to the union (Figure 3).

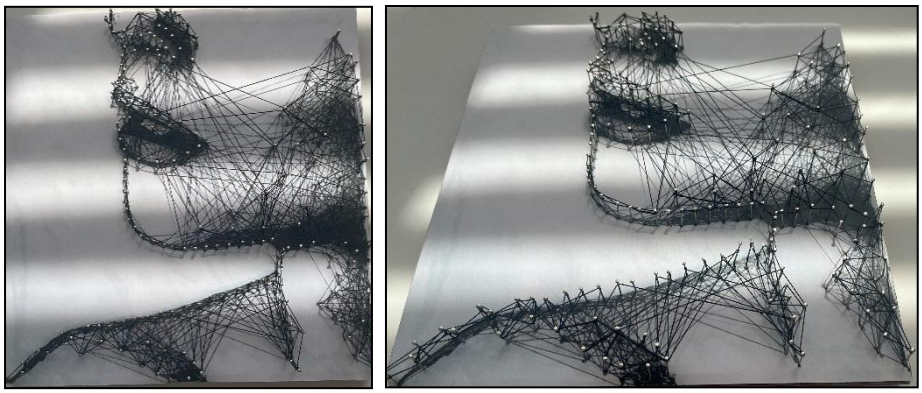


Figure 3. Study of 1st student (Designer: Şule Kömürcü)

The second student also used rope and needle in his study to express form through linearity. In the student's study, the leaves of the *Ginkgo biloba* plant, which has numerous visual medical applications, were selected. He also employed the principle of harmony in his study by using forms of similar sizes. In his work, the student achieved harmony through balance, creating an asymmetrical balance (Figure 4).

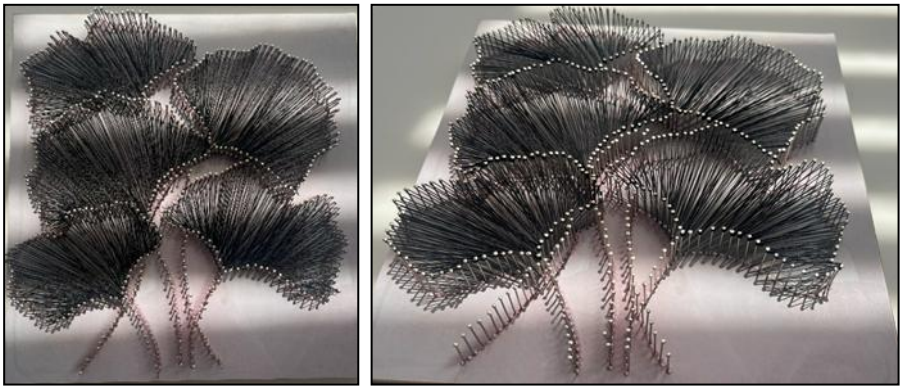


Figure 4. Study of 2nd student (Designer: Gürsel Koray Kızmaz)

The student designed the composition using canvas and ropes in their work. The design uses brown cream tones and gray-coloured ropes, employing both contrast and harmony in colour. In the linear expressions he designed, he used the principle of contrast by employing horizontal and vertical lines. He also used shapes of different sizes in his composition. The student achieved unity through contrast, creating an asymmetrical balance in his work (Figure 5).



Figure 5. Study of 3rd Student (Designer: Vehbi Eren Yeşil)

In the fourth example evaluated in the study, the student used a hoop, fabric, thread, and beads in her work. She used fabric as a background and designed the shapes using rope and beads. By choosing a light colour for the background and a dark colour for the shapes, it ensures that the shapes stand out more prominently. She has created linear expressions using ropes and beads to reveal expressions of form. She used harmony in colour and form, and contrast in size. The student achieved unity through harmony, creating an asymmetrical balance in her work (Figure 6).



Figure 6. Study of 4th Student (Designer: Hatice Bilici)

In the fifth study, the student used a mirror and ropes of different thicknesses in her work. She used the mirror in a circular form and designed the linear expressions with ropes to fit this circular form. She used the principle of harmony in form and colour. She used the principle of contrast in the thickness of the threads for creating the linear expressions. The student achieved an asymmetric balance in her work and reached unity through harmony (Figure 7).



Figure 7. Study of 5th Student (Designer: Rümeysa Kuzu)

Form Expressions via Effective Environment

When creating form representations through effective environment, students used needles, beads, transparent boxes, cardboard, plastic materials, and felt.

In the first example examined within the scope of the subject, the student visually selected an animal figure. This image has been printed in a size suitable for the workspace and the work surface has been prepared. White-coloured pins were used to ensure that certain parts of the image were perceived more effectively. Additionally, this has added a third dimension to the visual. The student has used the principle of harmony in the visuals and materials. The student achieved an asymmetric balance in her work and reached unity through harmony (Figure 8).



Figure 8. Study of 6th Student (Designer: Beyza Sultan Çetin)

In the 7th student study, pearls, beads, and transparent boxes were used. The student has used the principle of contrast by placing white pearls on a black background. Additionally, she has provided depth expression through measurement grading using pearls of different sizes. She also used the same circular transparent boxes in different sizes, creating a sense of depth. The student has thus made some circular forms effective. She also used the pearls in specific parts of the image to make those parts more effective and bring out the foreground-background effect. The student achieved an asymmetric balance in her work and reached unity through harmony (Figure 9).



Figure 9. Study of 7th Student (Designer: Hatice Bilici)

The student used needles and felt in his work. The selected image contains a background and shape expression. The student has surrounded the cat figure's hat in the image with pins, making

it effective. He also accentuated his mustache with brushes, giving it a third dimension. The student achieved a symmetric balance in his work and reached unity through contrast (Figure 10).

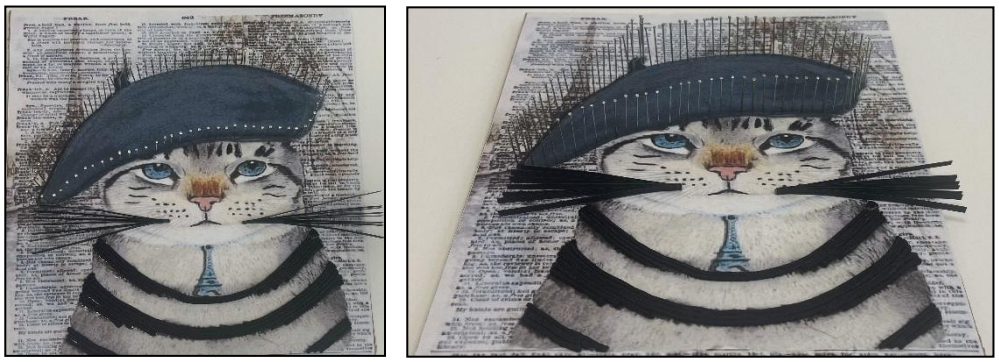


Figure 10. Study of 8th Student (Designer: Vehbi Eren Yeşil

The student used plastic materials and needles in her study. She used these materials on certain parts of the face of the female figure in her chosen image to make it more effective. She used the principle of contrast in the circles of different sizes and heights but used the principle of harmony in the background and shape expressions. The student achieved an asymmetric balance in her work and reached unity through harmony (Figure 11).

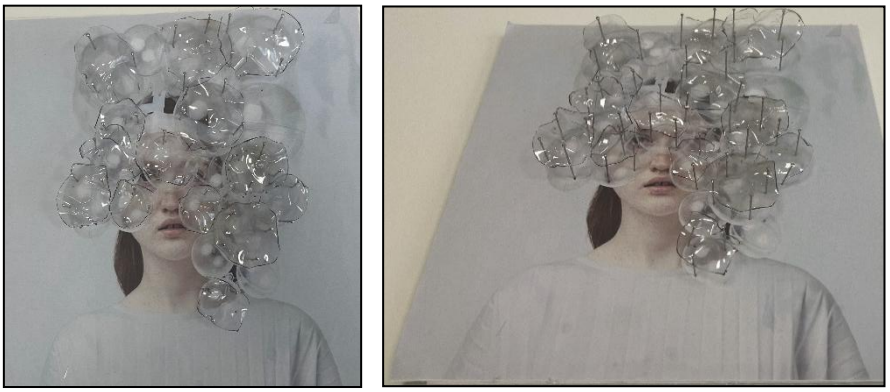


Figure 11. Study of 9th Student (Designer: Amine Kübra Aydın)

The student used felt and needles in her work. By raising the bow and glasses in the image with needles, she brought them to the foreground, creating a sense of depth and making these parts more effective. In his work, he has also emphasized the mustache in the image and created two- and three-dimensional narrative expressions. The student achieved a symmetric balance in his work and reached unity through harmony (Figure 12).



Figure 12. Study of 10th Student (Designer: Halit Yıldız)

4. CONCLUSION

The basic design course is a course that does not have definitive answers, can have multiple answers, develop students' analytical thinking skills and hand-eye-brain coordination, and teach creative thinking skills. Through this course, students begin to create original designs and develop their own design language.

As seen in the samples evaluated in the study, students were given the same topic and produced different successful solutions. Students have produced forms through linearity and effective environment. Students have thought about the given topic, conducted research, and created original designs using different materials and examples. In addition, each student has used one or more of the basic design elements and principles they learned in the course in their work.

Although the basic design course is approached differently in different professional disciplines, it is approached with a constructivist approach at the Department of Landscape Architecture, Faculty of Art and Design, Artvin Çoruh University. In the studio environment, students have the opportunity to develop their designs by drawing conclusions from the critiques given to themselves and their peers. The fact that the course is inquiry-based also contributes to their creativity.

ACKNOWLEDGE

We would like to thank the students who shared their work in the research.

REFERENCES

Atalayer, F., Üstün, B. Temel Tasarım Eğitim ve Öğretimi, Mimarlık Dergisi, 293, 51-52, 2000.

Balaban Varol, E., Varol, A., Temel Sanat Eğitimi Dersi Öğrenim Çıktılarının Temel Tasarım İlkeleri Bağlamında Analizi, Jass Studies-The Journal of Academic Social Science Studies, 16, 96, 183-196, 2023.

Cross, N., The Nature and Nurture of Design Ability, Design Studies, 11, 3, 127-140, 1990.

De Sausmarez, M., *Basic Design: The Dynamics of Visual Form*, Van Nostrand Reinhold. New York, 1983.

Ekmekçioğlu, D., Endüstriyel Tasarım Eğitiminde Temel Tasarım Dersi Örneği ve Öğrenme Çıktılarının Değerlendirilmesi, Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi, *28*, 2, 579- 592, 2024.

Hasol, D., *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, Yem Yayınları, İstanbul, Türkiye, 2022.

Houghton, N., Six into One: The Contradictory Art School Curriculum and How It Came About, International Journal of Art &Amp; Design Education, 35, 1, 107-120, 2016.

İsmailoğlu, S., Bayram, Ş., Cumhuriyetin 100. Yılında Temel Tasarım Kapsamında Bir Atölye: Soyutlama ve Sonsuzluk, Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering, 5, 2, 24-38, 2024.

Kanlı, M., *Resim sanatında Form ve Figur Çözümlemeleri Açısından D Grubu*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 1993.

Schön, D. A. Learning A Language, Learning to Design, Architectural Education Study, 1, 339–471, 1981.

Seylan, A., *Temel Tasarım*, YEM Yayınları, Türkiye, 2019.

Ünver, B., Temel Tasarım Stüdyosunda Yapılandırmacı Öğrenme Deneyimi: Beden-Mekân Çalışmaları Üzerinden Bir Değerlendirme, Sanat ve Tasarım Dergisi, 11, 2, 350-367, 2021.

Yıldırım, Ş., Ülkeryıldız, E., A Study on The Perceptual Change of Design Principles Acquired by Architectural Students in Basic Design Education, PLANARCH- Design and Planning Research, 7, 2, 153-162, 2023.

TÜRKİYE'DE KENTSEL KIYILARIN ERİŞİM VE KULLANIMI İLE İLGİLİ HAZIRLANAN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (1998-2025)

Doğa ÖZAKÇE[1]
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel
Tasarım Anabilim DalıYüksek Lisans Öğrencisi
dogaozakce@gmail.com - 0009-0006-8184-0993

Prof. Dr. Neriman YÖRÜR[2]
Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi
Şehir ve Bölge Planlama Bölümü
nerimanyorur@hotmail.com - 0000-0002-4998-136X

ÖZET

Kıyı alanlarında beşerî kullanımların yoğunlaşması, kamu erişimini sınırlayarak bu alanların doğal, fiziki ve ekolojik yapısıyla korunmasını güçleştiren bir baskı oluşturmaktadır. Kentsel kıyılar bu baskının en ağır şekilde hissedildiği yerlerdendir. Bu araştırmanın amacı; Yükseköğretim Kurulunun (YÖK) Ulusal Tez Merkezi web sayfasında bulunan, kentsel kıyıların erişim ve kullanımlarını irdeleyen lisansüstü tez çalışmalarını içerik analizi yöntemiyle incelemektir. Literatürde kentsel kıyılar üzerine çok sayıda görgül çalışma bulunmasına rağmen herhangi bir bibliyometrik çalışmanın yapılmadığı görülmektedir. Yapılan farklı araştırmaların karşılaştırılmasına olanak tanıyan bibliyometrik çalışmalardan bilimsel araştırma politikalarının belirlenmesinde yararlanılmaktadır. Bu kapsamda 1998-2025 yılları arasındaki 27 yıllık süreçte yapılmış olup Ulusal Tez Merkezi web sayfasından dijital erişime açıldığı görülen 65 adet lisansüstü tez çalışması, araştırmanın inceleme nesnesini oluşturmuştur. Bu çalışmalar; araştırma yılı, yayın dili, sayfa sayısı, lisansüstü düzeyi, araştırmanın yapıldığı bölge ve il, araştırmacıların kurumları, anahtar kelimeler gibi ölçütler bağlamında incelenmiş ve ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. İncelemeler sonucunda, bu çalışmalara çoğunlukla İstanbul Teknik (%26) ve Yıldız Teknik Üniversiteleri'nin (%17) kaynaklık ettiği; ağırlıkla İstanbul (%35) ve İzmir kıyılarının (%7) çalışıldığı görülmüştür. Bu zaman diliminde kıyı mülkiyeti, ekolojisi, rekreasyonu ve turizmi kavramları popüler çalışma konuları arasında yerlerini korurken mekânsal bağlantılar, yaya hareketliliği ve sürdürülebilirlik temalarının son zamanlarda lisansüstü tez çalışmalarına konu edilmeye başlandığı gözlemlenmiştir. Bu araştırma sonuçlarından yola çıkılarak, daha farklı kentsel kıyıların üzerinde durulmasının gerekliliği ortaya konulmuştur. Gelecekte benzer nitelikteki çalışmalardan kaynaklanabilecek yığılmaları önleyerek literatürde çeşitliliğin sağlanmasına kapı aralaması; bu çalışmayı önemli kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel kıyılar, kamu erişimi, kıyı kullanımı, lisansüstü tez çalışmaları.

1. GİRİŞ

Kentsel kıyılar; doğayı simgeleyen su ortamıyla insan yapımı olan kent ortamı arasında; bu, karşıt ortamları bağlayıp bütünleyen; bunun yanı sıra olanak tanıdığı birçok sosyal ve ekonomik etkinlikle oldukça cazip ve değerli alanlardır. Bu alanlar, tarih boyunca farklı gelişim süreçlerinden geçmiştir. Suyun, maliyeti düşük olan bir ulaşım ve taşımacılık yolu olarak keşfiyle ticaret yolları şekillenmeye başlamış ve deniz ulaşım yapıları kıyı alanlarının önemli bir merkezi olmuştur. Kıyılar artık yalnızca hidrolojik aşınım ve birikim süreçlerinin etkisiyle değişen alanlar değildir, aynı zamanda sosyal ve ekonomik aşınım ve birikim süreçlerine de tanıklık etmeye başlamıştır. 1982 Anayasası'yla kentsel ve kırsal, bütün kıyılar devletin hükmü ve tasarrufuna bırakılıp kamunun erişimine açılmış ve kamu yararı ön planda tutularak yeniden düzenlenmesi gündeme gelmiştir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizdeki bu gelişmelere paralel olarak, bu konudaki akademik literatürün de gelişmeye başladığı söylenebilir.

2. AMAÇ VE YÖNTEM

Lisansüstü tez çalışmaları, alanlarındaki bilgi birikimine katkıda bulunmak suretiyle bilimsel gelişmelere kaynaklık eden akademik çalışmalar olmaları açısından önemlidir (Çetinkaya, 2011). Türkiye'de kentsel kıyılar alanında yapılan akademik çalışmaların da son yıllara doğru arttığı ve belirli bir akademik birikim oluşmaya başladığı söylenebilir. Ne var ki diğer konuların aksine, kentsel kıyılar alanında yapılan akademik çalışmaları birer veri kaynağı olarak alan bibliyometrik çalışmaların olmayışı göze çarpmaktadır.

Bibliyometrik çalışmalar akademik literatürde yoğun olarak incelenen alanları, bu alanlardaki değişim ve eğilimleri ve literatüre yaptıkları katkılarla bunlara yön veren kurumları ortaya çıkaran çalışmalardır (Demirgil, 2018). Bu çalışma da kentsel kıyılar üzerine yapılmış lisansüstü tez çalışmalarına ilişkin verileri ortaya koyarak gelecekte yapılacak olan çalışmalara ışık tutmayı amaçlamaktadır. Çalışma evreninin tanımlanmasında, pek çok lisansüstü çalışmayı barındırması nedeniyle Yüksek Öğretim Kurulu'nun Ulusal Tez Merkezi veri tabanından yararlanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

Araştırmanın çalışma evrenini Türkiye'de yapılan lisansüstü tez çalışmaları oluşturmaktadır. Örneklem ise ölçüt örnekleme yöntemine göre, belirlenen ölçütlere uyan lisansüstü tezler arasından seçilmiştir. Ölçüt örnekleme yöntemi, belirlenmiş ölçütlere uymayan vakaların ivedilikle elenip kalan vakaların incelenmesi mantığına dayanmaktadır (Patton, 2002, s. 238). Belirli bir hedefe odaklı, stratejik bir yöntem olması itibarıyla bu araştırmada tercih edilmiştir. Örneklem seçiminde araştırmaların kentsel kıyıların tasarımında erişim ve kullanımları irdelemesine ve görgül olmasına dikkat edilmiştir. Görgül araştırmaların incelenmesiyle, incelenen somut örneklerin hangi kentsel kıyılarda yoğunlaştığı konusunda bilgi edinilmesi amaçlanmaktadır. Örneklemi oluşturan lisansüstü tezler içerik analizi yöntemine göre incelenmiştir.

Örneklem seçiminde belirlenen ölçütler ışığında, 2025 yılı kasım ayı itibarıyla, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi arama motoru üzerinden "kent", "kıyı", "erişim" ve "kent" "kıyı" "kullanım" anahtar kelimeleri aratılarak veri tabanında bulunan ve çevrim içi erişime açık olan 98 sonuca ulaşılmıştır. Bunların içinden, her iki aramada da tekrarlayan

sonuçlar elenerek erişilen 91 tez arasından, kentsel kıyıları erişim ve kullanım açısından değerlendirmeyen ve görgül olmayan 26 tanesi elenmiş ve kalan, 65 adet lisansüstü tez, çalışmaya dâhil edilmiştir.

Çalışma kapsamında, erişime açık olmayan tezlerin değerlendirilmesi mümkün olmamıştır. Erişilebilen çalışmaların en eskisinin 1998 yılına tarihlenmiş olması çalışmanın örneklemini 1998-2025 yılları arasındaki 27 yıllık süreyle sınırlamıştır. Tezler, künyelerinin ortaya konulması adına; özgün dillerine, yayınlandıkları yıllara, lisansüstü düzeylerine, sayfa sayılarına, yayımlayan kurumlara, enstitülere, ana bilim dallarına, incelediği kıyının bulunduğu bölgeye ve ile, anahtar kelimelere göre gruplanarak frekans ve yüzdelik değerlerine ulaşılmıştır. Bu çalışmalar esnasında Microsoft Excel, yayın hâline getirilmesinde ise Microsoft Word programı kullanılmıştır.

Araştırmada kentsel kıyıları konu alan çalışmalara ilişkin, şu sorular yanıtlanmaya çalışılmıştır:

- Tezlerin düzeylerine ve özgün dillerine göre dağılımları nasıldır?
- Tezlerin düzeylerine ve yayınlandıkları yıllara göre dağılımları nasıldır?
- Tezlerle gerçekleşen akademik birikimin sayfa sayısı verisi üzerinden yıllara göre dağılımı nasıldır?
- Tezler hangi yükseköğretim kurumları (devlet ve vakıf), enstitüler ve ana bilim dallarında gerçekleştirilmiştir?
- Tezlerin çalışma alanları belirli bölgelerde yoğunlaşma göstermekte midir?
- Tezlerin odaklandıkları konular nelerdir?

Bu araştırma kapsamında, kentsel kıyılar alanında yapılan ve çevrim içi erişime açık olan, ulusal düzeydeki lisansüstü tezleri bibliyometrik açıdan inceleyen bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın, önümüzdeki yıllarda kentsel kıyılar alanındaki akademik çalışmalarda lisansüstü öğrencilere ve akademisyenlere konu seçimlerinde dikkate alınmaya değer nitelikte olduğu düşünülmektedir.

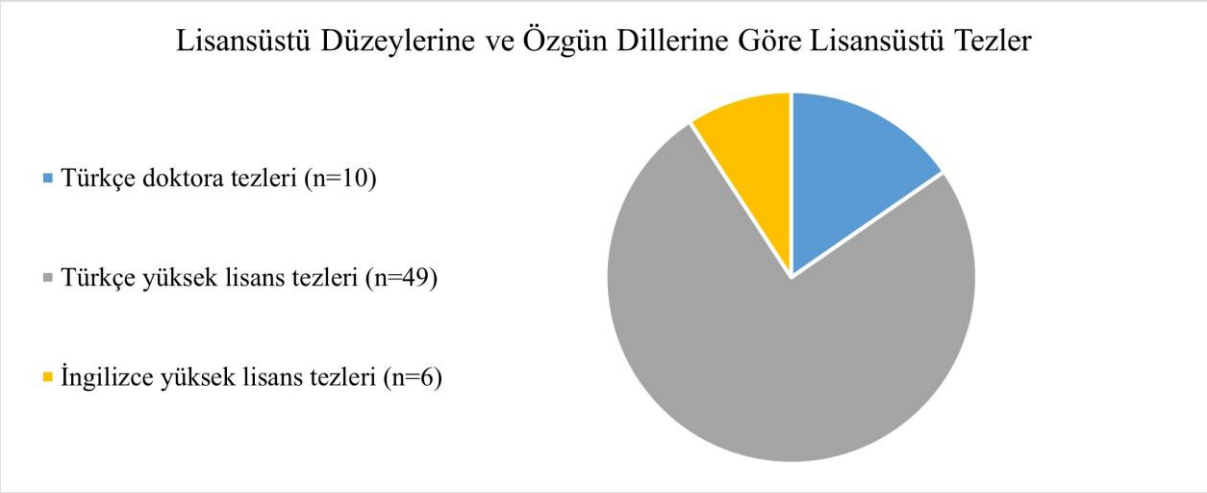
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmanın bu bölümünde Yükseköğretim Kurulu Başkanlığının (YÖK) Ulusal Tez Merkezi'nden çevrim içi olarak erişilebilen, kentsel kıyı tasarımlarını erişim ve kullanım açısından değerlendiren, 65 adet lisansüstü tez çalışmasına ilişkin bulgular grafikler hâlinde sunulmuştur.

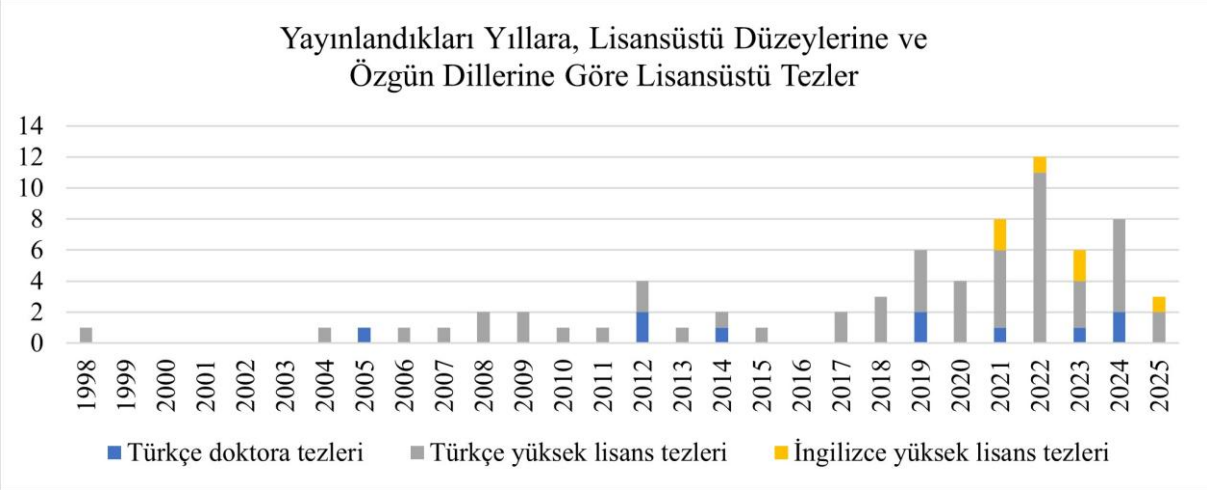
Ülkemizde bu konuda yazılmış olup erişilebilen tezlerin %91'lik oranla büyük çoğunluğu Türkçe yazılmışken, %9'u İngilizce yazılmıştır. Tezlerin %85'inin yüksek lisans, %15'inin ise doktora tezi olduğu görülmüştür (Görsel 1).

Kronolojik olarak sıralandıklarında, erişilebilen ilk lisansüstü tezlerin 1990'lı yılların sonlarında yazıldığı görülmektedir. 2000'li yılların ilk yarısında bu konuda neredeyse hiç lisansüstü tez yazılmadığı ancak sonrasında bu konuda düzenli olarak lisansüstü tez yazıldığı ve tez sayısının 2022 yılında zirveye ulaştığı görülmektedir (Görsel 2). Bu konuda literatüre yapılan, İngilizce dilindeki ilk katkılara da bu dönemde denk gelinmekle birlikte, doktora

tezlerinin literatür içindeki payının da 2010'lardan beri %15-20 bandında seyrettiği görülmektedir (Görsel 3).



Görsel 1. Lisansüstü Düzeylerine ve Özgün Dillerine Göre Lisansüstü Tezler



Görsel 2. Yayınlandıkları Yıllara, Lisansüstü Düzeylerine ve Özgün Dillerine Göre Lisansüstü Tezler



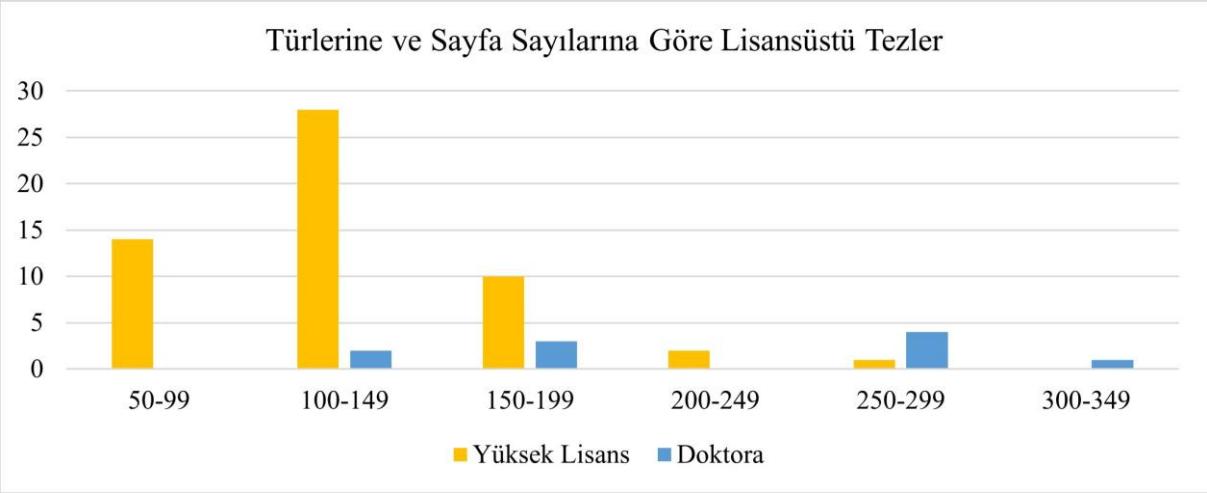
Görsel 3. Lisansüstü Tezler Arasında İngilizce Yazılan Tezlerin ve Doktora Tezlerinin Oranlarının Yıllara Göre Değişimi

Bu konuda ortaya konulan akademik üretime ilişkin, sayfa sayısı üzerinden nicel bir ölçüm yapıldığında, yapılan katkıların 2000'li yılların ortalarından sonra artış gösterdiği görülmüştür. Bu dönemden önceki katkılar, araştırma kapsamında incelenen yazının yalnızca %6'sını oluşturmaktayken 2006-2010 yılları arasındaki katkıların oranı %8 olmuş ve bu oran 2011-2015, 2016-2020 ve 2021-2025 yılları arasındaki beşer yıllık dönemlerde sırasıyla %15, %25, ve %46 şeklinde artarak gerçekleşmeye devam etmiştir (Görsel 4).

Araştırma kapsamında incelenen yüksek lisans tezlerinin %76'sı 150 sayfadan daha az, %18'i 150 ila 199 sayfa arasında, %6'sı ise 200 sayfanın üzerindeyken bu oranlar doktora tezlerinde sırasıyla %20, %30 ve %50'dir. Çalışmaya konu edilen lisansüstü tez çalışmalarının ortalamalarına bakıldığında bir yüksek lisans tezinin yaklaşık 128 sayfa uzunluğunda, bir doktora tezinin ise 219 sayfa uzunluğunda olduğu görülmüştür (Görsel 5).



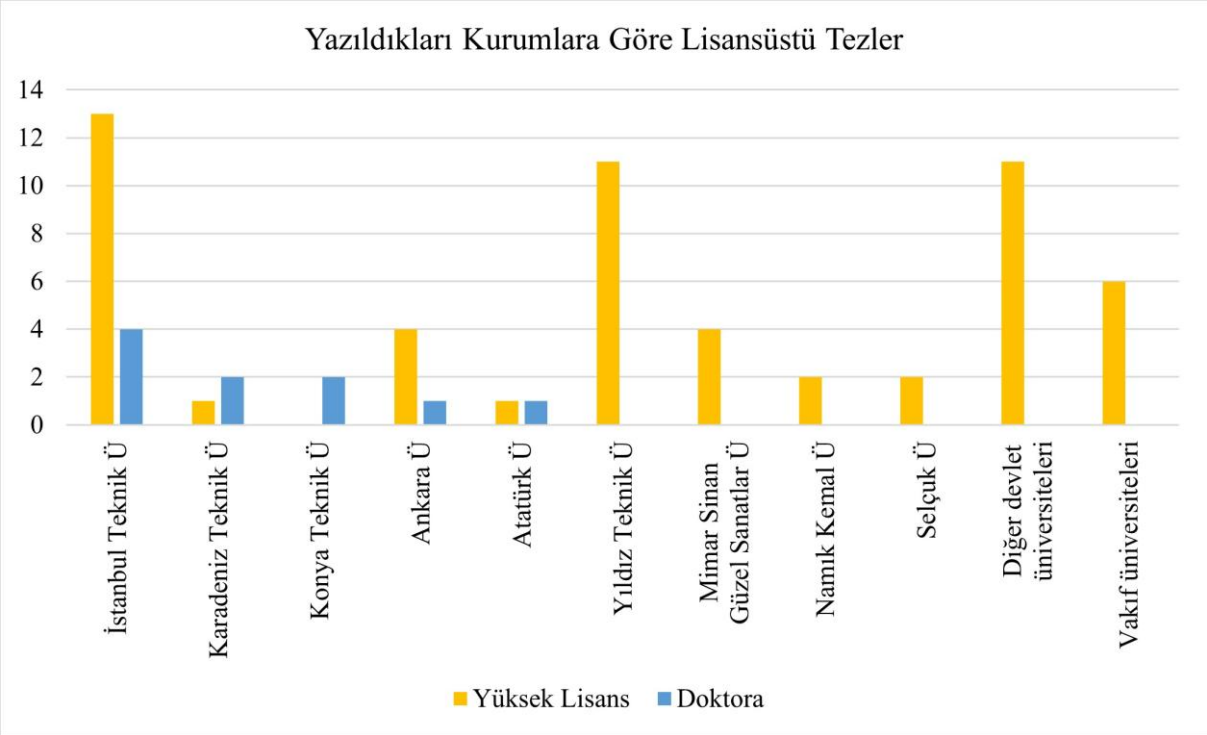
Görsel 4. Yayınlandıkları Yıllara Göre ve Sayfa Sayısı Cinsinden Lisansüstü Literatüre Katkılar



Görsel 5. Türlerine ve Sayfa Sayılarına Göre Lisansüstü Tezler

Bu konuda akademik literatüre yaptıkları katkılarla öne çıkan yükseköğretim kurumları ise İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Yıldız Teknik Üniversitesi'dir (YTÜ). On üçü yüksek lisans, dördü de doktora tezi olmak üzere 17 adet lisansüstü teziyle İTÜ ve onu 11 adet yüksek lisans teziyle izleyen YTÜ, bu konuya ilişkin yapıldığı görülen çalışmaların %43'üne tek başlarına kaynaklık etmiştir. Karadeniz ile Konya Teknik Üniversiteleri'nde ikişer adet, Atatürk ve Ankara Üniversiteleri'nde de birer adet doktora tezi yazılmıştır. Yine Ankara

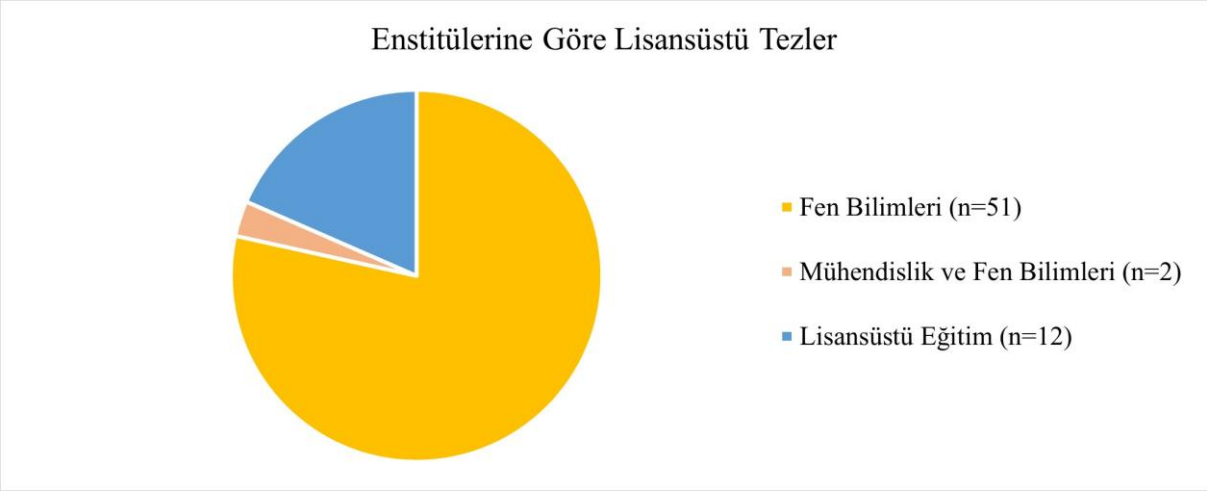
Üniversitesi'nde ve Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi'nde dörder adet, Namık Kemal Üniversitesi ve Selçuk Üniversitesi'nde ise ikişer adet yüksek lisans tezi yazılmıştır. Devlet üniversitelerindeki bunun gibi çalışmaların yanı sıra, vakıf üniversitelerinden Bahçeşehir, Bilkent, İstanbul Aydın, İstanbul Kültür, Maltepe ve Yeditepe Üniversiteleri de birer adet yüksek lisans tez çalışmasıyla akademik literatüre katkıda bulunmuştur (Görsel 6).



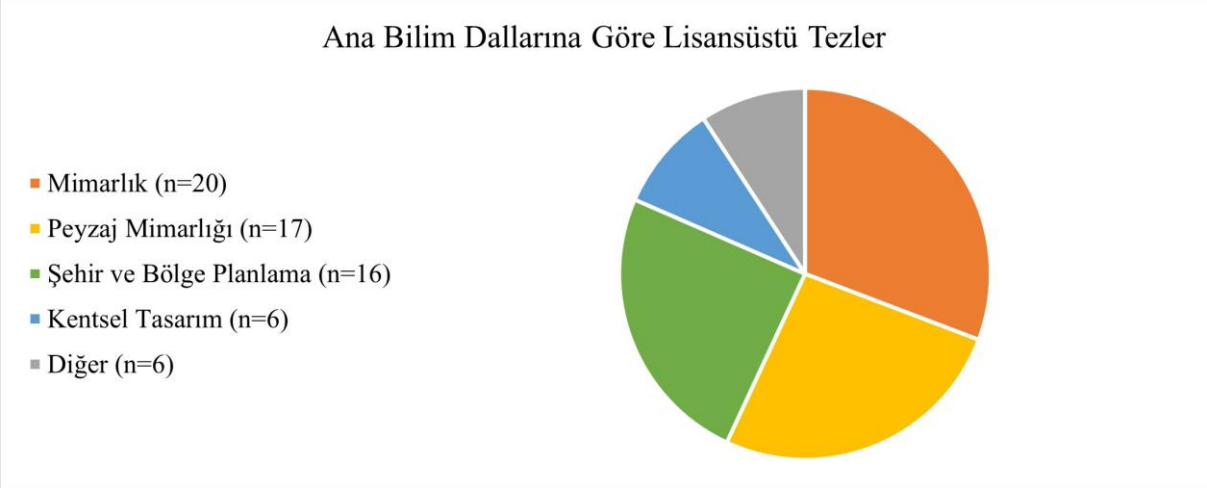
Görsel 6. Yazıldıkları Kurumlara Göre Lisansüstü Tezler

Kentsel kıyıları erişim ve kullanım açısından değerlendiren lisansüstü tez çalışmalarının yaklaşık %82'sinin fen bilimleri ile mühendislik ve fen bilimleri enstitülerinin bünyelerinde hazırlandığı görülmektedir. Bu konudaki çalışmaların yaklaşık %31'inin Mimarlık, %26'sının Peyzaj Mimarlığı, %25'inin Şehir ve Bölge Planlama, %9'unun da Kentsel Tasarım Ana Bilim Dalları bünyesinde hazırlandığı görülmüştür. Kalan %9'luk kısım ise Kentsel Tasarım ve Peyzaj Mimarlığı, İç Mimarlık, Endüstri Ürünleri Tasarımı, Gayrimenkul Geliştirme, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ana Bilim Dalları arasında eşit olarak dağılmıştır (Görsel 7 ve Görsel 8).

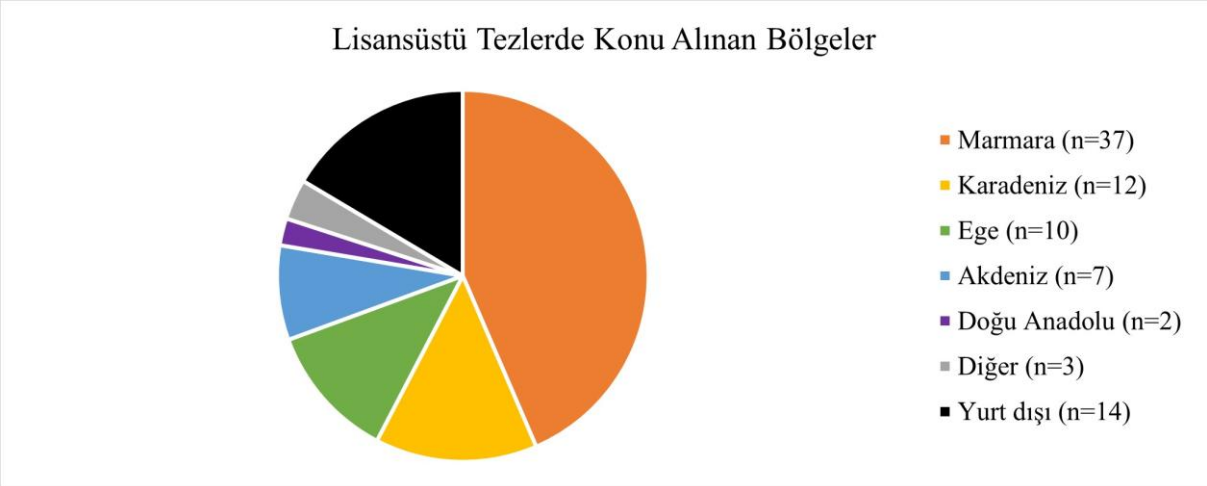
İncelenen, görgül, lisansüstü çalışmalarda ele alınan kıyıların %44'ü Marmara, %14'ü Karadeniz, %12'si Ege, %8'i Akdeniz, %6'sı ise yurdun diğer bölgelerdeki kentsel kıyılardır. Bu kıyılardan %35'lik bir oranla en büyük kısmı İstanbul il sınırları dâhilinde, %7'si İzmir, %4'ü ise ayrı ayrı Antalya, Muğla, Samsun ve Trabzon il sınırları dâhilinde olup %16'sı ise ülke sınırları dışında bulunmaktadır (Görsel 9 ve Görsel 10).



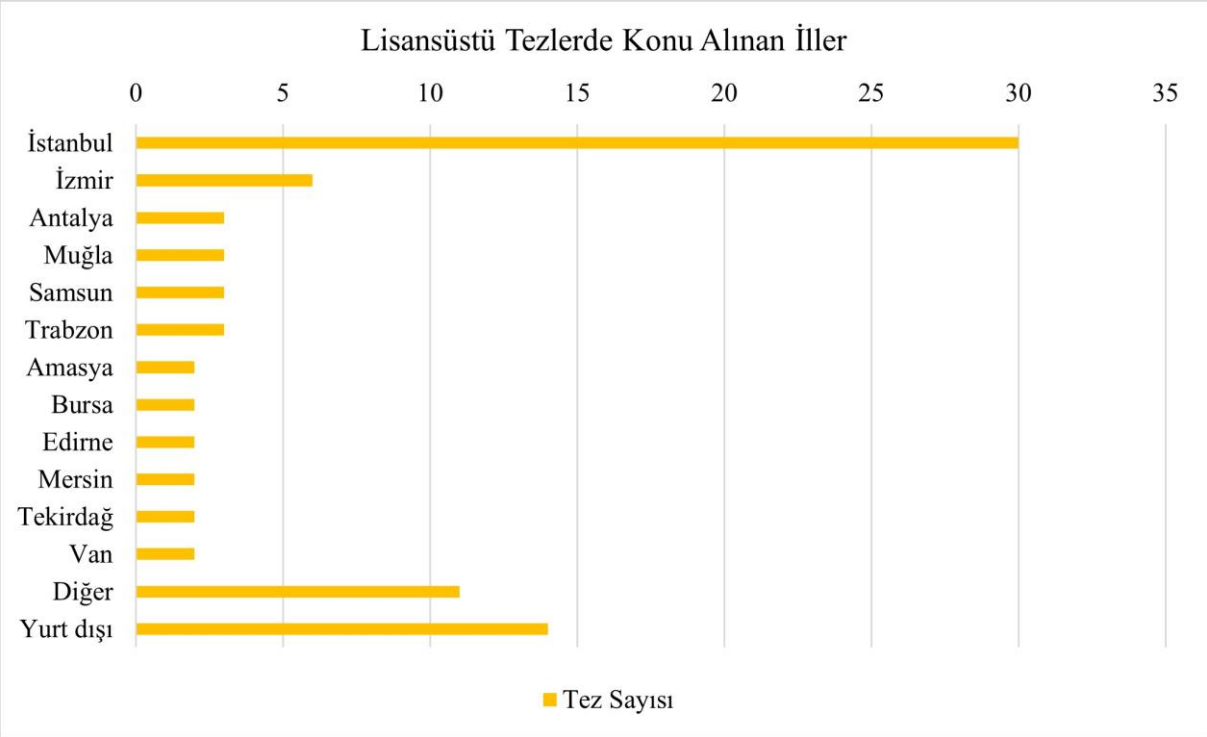
Görsel 7. Enstitülerine Göre Lisansüstü Tezler



Görsel 8. Ana Bilim Dallarına Göre Lisansüstü Tezler



Görsel 9. Lisansüstü Tezlerde Konu Alınan Bölgeler



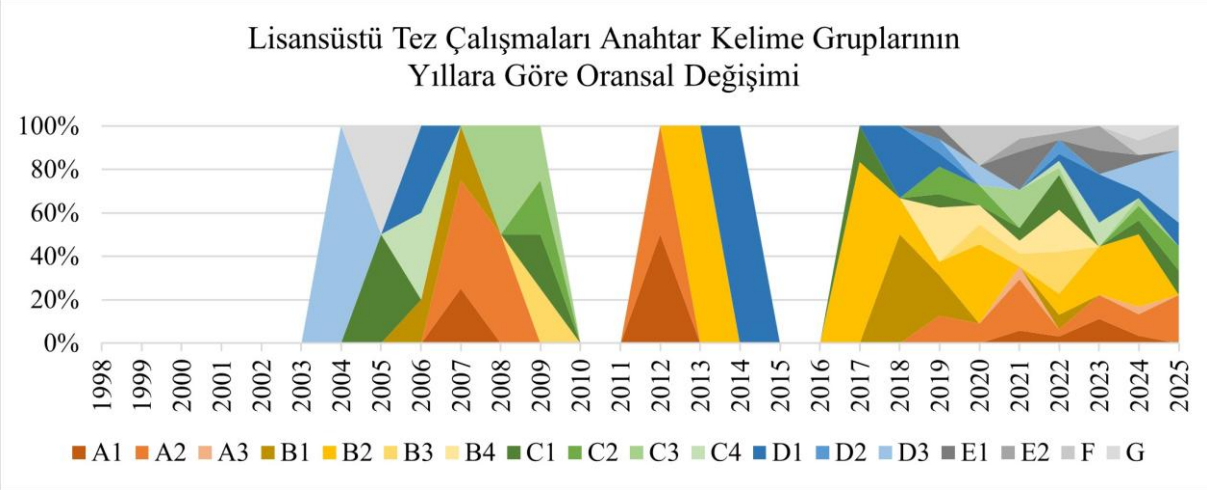
Görsel 10. Lisansüstü Tezlerde Konu Alınan İller

Bu analizlerin ardından, lisansüstü tez çalışmalarının odaklandıkları konuların tarihsel gelişimini ortaya koyabilmek adına, özet kısımlarından listelenen 248 adet anahtar kelime çıkarılmış ve bunların arasından 44 adet yer adı ile çalışmaların kentsel kıyılar üzerine olduğunu belirten 41 adedi elenerek kalan 163 anahtar kelimenin belirli temalar etrafında gruplanması gerekli görülmüştür (Çizelge 1).

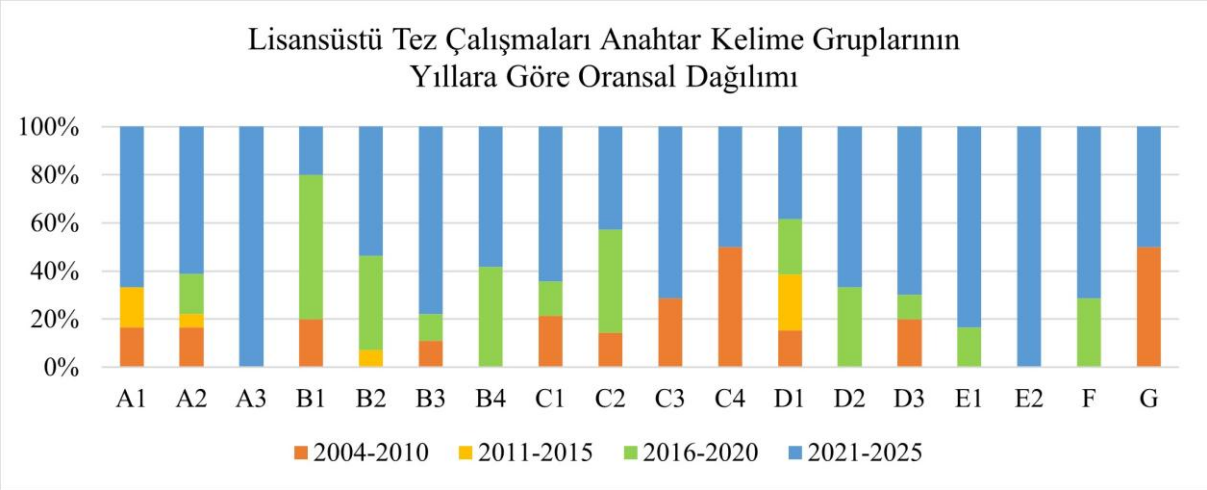
Tespit edilen gruplara mensup anahtar kelimelerin kullanımlarının yıllara göre dağılımı incelendiğinde edinilen verilerin, yapılan çalışma sayısındaki sınırlılıklar nedeniyle 2010'lu yılların ortalarına kadar pek anlamlı olmadığı, o dönemden sonra araştırmaların sayısındaki artışla doğru orantılı olarak araştırma konularının çeşitlendiği ve belirli temaların oluşmaya başladığı görülmüştür. 2010'ların ikinci yarısından sonra, çalışmalarda planlama ölçeğinden tasarım ölçeğine doğru bir kayma olmuş ve kentsel kıyılar tarihî ve kültürel çevreleri ve kullanıcılarına sundukları deneyimlerle birlikte ele alınmaya başlanmıştır. Kıyı mülkiyeti, ekolojisi, rekreasyonu ve turizmi kavramları 2000'lerden beri lisansüstü tez çalışma konuları arasında popülerliğini korurken 2020'lerle birlikte kentsel kıyılar mekânsal bağlantılar, yaya hareketliliği ve sürdürülebilirlik kavramları üzerinden incelenmeye ve deniz kıyılarının yanı sıra akarsu kıyıları da ele alınmaya başlanmıştır. (Görsel 11 ve Görsel 12).

Çizelge 1. Lisansüstü Tezlerin Anahtar Kelimelerinin Tematik Gruplandırılması

A1	Yönetim ve planlama	**C1**	Mülkiyet ve kamusallık	**E1**	Bağlantı
A2	Gelişim ve dönüşüm	**C2**	Kentsel açık alan	**E2**	Yaya
A3	Sürdürülebilirlik	**C3**	Kullanım	**F**	Akarsu
B1	Tasarım	**C4**	Turizm	**G**	Yöntemler
B2	Kullanıcı ve algı	**D1**	Rekreasyon		
B3	Kent kimliği	**D2**	Peyzaj		
B4	Tarih, kültür ve miras	**D3**	Ekoloji		



Görsel 11. Lisansüstü Tez Çalışmaları Anahtar Kelime Gruplarının Yıllara Göre Oransal Değişimi



Görsel 12. Lisansüstü Tez Çalışmaları Anahtar Kelime Gruplarının Yıllara Göre Oransal Dağılımı

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Türkiye'de hazırlanmış ve Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişilebilen; kentsel kıyıların tasarımında erişim ve kullanımları irdeleyen; 55'i yüksek lisans, 10'u ise doktora tezi olmak üzere 65 adet, görgül nitelikte, lisansüstü tez çalışması incelenmiştir. Bu incelemede göz önünde bulundurulacak kriterler; tez çalışmasının özgün dili, yayınlandığı yıl, lisansüstü düzeyi, sayfa sayısı, yayımlayan kurum, enstitü, ana bilim dalı, incelediği kıyının bulunduğu bölge ve il ile anahtar kelimeler şeklinde belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda ülkemizde bu konuda yazılan tezlerin uzun yıllar boyunca sadece Türkçe dilinde verildiği, İngilizce dilindeki çalışmaların ise ancak 2020'li yıllar ile verilmeye başlandığı görülmüştür. Buna rağmen İngilizce dilinde yapılmış olan çalışmaların kısa sürede

tüm çalışmalar içindeki payını %9 düzeyine çıkarabildiği gözlemlenmiştir. Mevcut durumun, uluslararası literatüre yapılacak katkılara sınırlayıcı etkisinin ileride azalacağı düşünülmektedir.

Kronolojik bir inceleme yapıldığında, erişilebilen en eski tezin 1998 yılına ait olduğu; ancak 2000'li yılların ortasında bu konuda düzenli olarak tez yazılmaya başlandığı ve tez sayısının 2022 yılında zirveye ulaştığı görülmüştür. 2022 yılı civarında lisansüstü tez çalışmalarındaki kayda değer, niceliksel artışta pandemi koşullarıyla uygulanmaya başlanılan sokağa çıkma kısıtlamalarının görgül araştırmaların yürütülmesini ne kadar zorlaştırsa da insan kaynağını geçici olarak mesleki pratiklerden uzaklaştırıp akademik yazın üretimine yoğunlaşmaya itmesinin de etkisi olabileceği düşünülmektedir. Yıllara göre yazılan tezlerin toplam sayfa sayılarına bakıldığında literatüre yapılan niceliksel katkıların buna paralel olarak 2022 yılında en üst seviyeye ulaştığı görülmüştür.

Bu konuda Türkiye'de literatüre katkılarıyla öne çıkan yükseköğretim kurumlarının İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ile Yıldız Teknik Üniversitesi olduğu ve tek başlarına bu kurumlarda yapılan çalışmaların, alandaki çalışmaların %43'üne denk geldiği; bunların yanı sıra Karadeniz Teknik Üniversitesi, Konya Teknik Üniversitesi, Atatürk Üniversitesi ile Ankara Üniversitesi gibi devlet üniversitelerinde de bu konuyla alakalı, doktora düzeyinde tez çalışmaları yapıldığı görülmüştür. Vakıf üniversitelerinden ise yalnızca Bahçeşehir Üniversitesi, Bilkent Üniversitesi, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Maltepe Üniversitesi ve Yeditepe Üniversitesi'nde yüksek lisans düzeyinde tez çalışmaları yürütüldüğü ortaya konulmuştur. İncelenen lisansüstü tez çalışmalarının yaklaşık %82'sinin fen bilimleri ile mühendislik ve fen bilimleri enstitüleri; %31'inin Mimarlık, %26'sının Peyzaj Mimarlığı, %25'inin Şehir ve Bölge Planlama, %9'unun da Kentsel Tasarım Ana Bilim Dalları bünyelerinde hazırlandığı görülmüştür.

Araştırma sonucunda Marmara (%44) bölgesinin diğer bölgelere; İstanbul (%35) ve İzmir (%7) kentsel kıyılarının da, barındırdıkları nüfusla doğru orantılı olarak, diğer illere kıyasla daha çok çalışıldığı görülmüştür. Araştırmaların; doldurulmuş veya doğal, alçak-basık nitelikteki deniz kıyılarında yoğunlaştığı; dar-yüksek kıyıların ve göl ve akarsu kıyılarının ise neredeyse hiç çalışılmadığı görülmüştür.

Türkiye'de bu konuda yazılan lisansüstü tezlerin yoğunlaştıkları temalar anahtar kelimeleri üzerinden incelendiğinde kıyı mülkiyeti, ekolojisi, rekreasyonu ve turizmi kavramlarının popüler çalışma konuları arasında yerlerini korudukları görülmüştür. 2010'lu yılların ortalarından önce kıyılar planlama ölçeğinde ele alınırken daha sonraki araştırmalarda tasarım ölçeğine doğru bir kayma olduğu gözlemlenmiştir. 2020'li yıllarda pandemi koşullarının da etkisiyle arttığı düşünülen lisansüstü tez çalışmalarında ise mekânsal bağlantılar, yaya hareketliliği ve sürdürülebilirlik gibi yeni temalarla ve akarsu kıyıları üzerine yapılmaya başlanan çalışmalarla kentsel kıyı alanları üzerine oluşan akademik literatürün çeşitlendiği görülmüştür.

Küresel iklim değişikliği nedeniyle daha radikal değişimlerin gözlemlenmeye başlandığı kıyı alanlarında, literatürdeki gelişmelerin farklı niteliklerdeki fiziki mekânlara uygulanabilirliğini irdeleyen görgül araştırmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Nitekim bu sonuçlardan da, daha farklı kentsel kıyı alanlarının üzerinde durulmasının gerekliliği anlaşılmaktadır. Bu araştırmanın; benzer nitelikteki çalışmalar nedeniyle oluşabilecek

yığılmaları önleyerek literatürde çeşitliliğin sağlanmasına katkıda bulunması beklenilmektedir. Türkiye'de kentsel kıyı alanlarında yapılmış lisansüstü tez çalışmalarının akademik literatüre katkılarını kaynak analiziyle daha derinlemesine inceleyerek bu çalışmayı bütünleyecek, gelecekteki çalışmalar; bu alanda yapılmış olan kilit çalışmaları ve akademik literatüre katkılarının yanı sıra, alanın hangi disiplinlerden ne ölçüde beslendiğini ve alandaki paradigma değişimlerini de daha kesin ve ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmasını olanaklı kılacaktır.

Bu çalışma; Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Tasarım Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Neriman Yörür yürütücülüğünde devam etmekte olan "Kentsel Kıyı Alanlarında Erişim ve Kullanım Sorunlarına İlişkin Tasarım Stratejilerinin Belirlenmesi: Antalya/Şirinyalı Örneği" başlıklı Yüksek Lisans tezi kapsamında hazırlanmıştır.

KAYNAKÇA

1. Ajinah, N., *Public Accessibility to Urban Waterfronts: The Case of Jeddah City,* Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2023.

2. Aköz Çevrimli, B., *Kentsel kıyılarda yere bağlılığın gelişiminde algısal sürece etki eden faktörlerin tespitine yönelik kavramsal bir model önerisi,* Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 2024.

3. Aksoy, C. O., *Kent plajları ve tasarım kriterlerinin irdelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.

4. Aktürk, E., *Kıyı peyzajlarının kültürel ekosistem servisleri açısından değerlendirilmesi: Trabzon kent merkezi örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2020.

5. Akyol Şatıroğlu, E., *İstanbul Doğu Karadeniz kıyı alan kullanımlarındaki değişimin saptanması,* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.

6. Alalı, A., *Kentsel kıyı alanlarında ekolojik düğüm noktalarının izlerinin aranması: Saroz Körfezi örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2024.

7. Alemdar, E. Ö., *Kıyı kenti İstanbul ve siluet değeri: Büyükada siluetinin sürdürülebilirliği,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2022.

8. Ardıçoğlu, R., *Kıyı dolgusunun kent morfolojisine etkisinin mekan dizimi yöntemiyle incelenmesi: İstanbul Tophane bölgesi,* Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.

9. Atmaca, M., *Kent kıyılarının dolgu alanlarında rüzgar şiddetine bağlı olarak kullanım yoğunluğunun düşmesi sorununun Maltepe dolgu alanında tespiti,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.

10. Başaslan, D., *Kentsel akarsu kıyıları ve yerleşme ilişkisinin değerlendirilmesi: İstanbul Kağıthane Deresi örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.

11. Beyhan, G., *Kıyı-kent ilişkisi sorunsalında Van kent kimliği,* Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2022.

12. Cihan Yavuzcan, M. M., *Kentsel kıyılarda sürdürülebilir yerin oluşturulmasına yönelik katılımcı bir model önerisi: Kabataş- Karaköy kıyı şeridi,* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2024.

13. Coşkun, E., *A Study for a Morphological Assessment: Impact of a New Project on the Urban Form of Galata, Istanbul,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2021.
14. Çakmak, A., *Sinop kıyı kentinin gelişimi,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
15. Çelik Nalbant, N., *Kentsel kıyı alanlarında kimlik özelliklerinin değerlendirilmesi: Terme akarsu kıyısı örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2022.
16. Çelik, M. B., *From the City to the Waterfront: A Critical Analysis of İzmirdeniz Project, the Case of Bostanlı,* Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir, 2025.
17. Çetinkaya, G. Türkiye'de rekreasyon alanında yapılan lisansüstü tezlerin incelenmesi (1985 – 2010 dönemi), Sport Sciences, 6(1), 13-24, 2011.
18. Demircioğlu, N., *İstanbul kent merkezinde ticari bölgelerin yeniden canlandırılması: Karaköy-Perşembe pazarı örneği,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
19. Demirgil, H., Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınlarında Bilimsel Yoğunlaşma Alanları ve Bibliyometrik Ağ Analizi, Suleyman Demirel University Journal of Science, 13(2), 36-53, 2018.
20. Durgut, Z. C., *Kıyı alanlarında mekansal bağlantıların yaya hareketleri ve mekan kullanımına etkileri,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2021.
21. Emerce, G., *Kıyı alanlarında kentsel tasarım bağlamında kayıp mekânların irdelenmesi, İstanbul- Eminönü örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
22. Engür, G., *Akarsu ve park bütünleşmesi: Afyonkarahisar kenti Akarçay rekreasyon alanı örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2024.
23. Erkmen, B., *Kentsel kıyı alanlarının yeniden canlandırılması: İstanbul Limanı'na ilişkin bir öneri,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
24. Gamture, İ., *Tekirdağ Süleymanpaşa ilçesi sahil şeridinin yaya bölgeleri planlama ve tasarım ilkeleri açısından değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2022.
25. Genç, E., *Bostan İskelesinden Kağıthane Mesiresine Kadar Haliç Kıyılarındaki Açık Mekanların Değişen Kullanımlarının Değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008.
26. Gökkaya, B., *Kentsel dönüşüm sonrası yapılan toplu konut projelerinin sürdürülebilirlik bağlamında olanak ve sınırlarının değerlendirilmesi üzerine bir çalışma: Kadifekale-Uzundere örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2024.
27. Güder, S. E., *Kıyı alanlarında kentsel mekan kalitesinin iyileştirilmesine yönelik bir araç olarak kentsel tasarım rehberleri: Silifke - Taşucu örneği,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2019.
28. Gülşen, M. N., *Negotiating Archeology and Urbanization at Bodrum Peninsula,* Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2022.
29. Gültürk, P., *Tekirdağ kent merkezi kıyı şeridinin görsel peyzaj kalitesi yönünden değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2013.

30. Gün, A., *Kıyılarda yer alan eski endüstri alanlarının değerlendirilmesi: Paşabahçe cam fabrikası için yeniden kullanım önerisi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
31. Güner, S., *Kültürel odaklı peyzaj biyografisinin oluşturulması: Üsküdar Kıyı Bandı örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 2019.
32. Gürbüz Söyler, B., *Kentsel kıyı alanları ve kamusal mekân ilişkisi: Bayburt kent örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2022.
33. İletir Bölükbaş, E., *Akdeniz'de kentsel doku ile yaşam arasındaki etkileşim: Bodrum örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2024.
34. İnceoğlu, D., *Mudanya'nın kıyı kullanımının kentsel gelişimdeki rolü,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.
35. İşbilen, C. P., *Rekreasyon alanlarında kent mobilyaları tasarımı: Bayraklı Sahili'nde piknik aktivitesi örneğinde incelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.
36. Kazas Demiralp, J., *Nehir kıyısı kentsel mekan kullanımlarının değerlendirilmesi üzerine bir çalışma: Vardar ve Yeşilırmak kıyısı örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
37. Kır, İ., *Kent meydanlarının kent kimliği üzerine etkileri; İzmir örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.
38. Koca, F., *Kıyı alanlarının (waterfronts) dönüşümü üzerine bir sürdürülebilirlik analizi: Haydarpaşa örneği,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
39. Kurtuluş, R. Z., *Beşiktaş Dolmabahçe-Ortaköy kıyı şeridinde kültürel mirasın algılanması ve sunumu,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2022.
40. Musaoğlu, A. S., *Designing Urban Rooms in Istanbul Bosphorus City – Water – Land Interface Alternative Urban Interior Recommendations,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2023.
41. Önemli, S., *Stratejik planlama - kentsel projeler ilişkisi ve kentsel kıyı tasarımı: İstanbul Tarihi Yarımada kıyı bandı üzerine bir irdeleme,* Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
42. Özbey, D., *Kıyı alanlarının kent kimliğine olan yansımaları: İzmir örneği,* Yüksek Lisans Tezi, İzmir Demokrasi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2020.
43. Özdemir Işık, B., *Kıyı alanı rekreasyonel kullanım kararlarının belirlenmesi: Trabzon kenti örneği,* Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
44. Özkaynak, M., *Akarsu kıyı yerleşimlerinde kent kimliğinin sürdürülebilirliği,* Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 2021.
45. Özkoç, E., *Assessment of Pedestrian Oriented Use of Coastal Areas: A Case Study of the Asian Side of İstanbul,* Yüksek Lisans Tezi, Yeditepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2021.
46. Öztürk, G., *Kıyı alanlarında gündelik hayatı kuran eşik mekanların incelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.
47. Özyörük, E., *Kıyı alanlarının dönüşümünde kamusal mekân ilkesi: Haliç tersaneleri,* Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2021.

48. Patton, M. Q., *Qualitative Research & Evaluation Methods* (3. Baskı, s. 238). SAGE Publications/London and New Delhi, 2002.
49. Poyraz Gürkan, N., *Kıyıların sağladığı ekosistem hizmeti algısının değerlendirilmesi: Samsun, Mimar Sinan-Körfez kıyı aksı örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Artvin, 2024.
50. Sarıbıyık, F., *Kentsel kıyı alanlarında yer alan kamusal açık alanların değerlendirilmesi: Anadolu yakası Marmara kıyı alanları - İstanbul,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2022.
51. Seçmen, S., *Kentsel kıyı alanlarının mekansal özelliklerine yönelik bir model önerisi: İstanbul örneği,* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
52. Selvi, U., *Kentsel gelişme dinamikleri çerçevesinde İstanbul'da plaj olgusu,* Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
53. Sesli, F. A., *Türkiye'de kıyı-mülkiyet ilişkilerinin irdelenmesi: Trabzon sahil geçiş yolu örneği,* Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2005.
54. Sipahi, M., *Kıyı koridor planlaması kapsamında gürültü bariyerlerine yönelik öneri geliştirilmesi: Rize kenti örneği,* Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2023.
55. Şaşko, Ş., *Kıyı dolgu alanlarının kullanım biçimi açısından değerlendirilmesi: İstanbul tarihi yarımada örneği,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
56. Şimşek İlhan, B., *Toplumsal yarar odaklı kıyı canlandırmaya ilişkin kavramsal bir ajanda ve İstanbul örneğinde Türkiye üzerine değerlendirmeler,* Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
57. Şüyün, M. A., *Kentsel arsa değerlerinin ve arazi kullanım türünün değişiminde makro ölçekli yatırımların etkilerinin değerlendirilmesi: Yat limanları örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2021.
58. Tarcan Bütün, Z., *Kentsel akarsu kıyılarının kamusal mekan yaratma potansiyelinin belirlenmesi: Kağıthane deresi ve Kurbağalıdere örneği,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.
59. Turunç, Z., *İstinye kıyı mekanı üzerine bir araştırma,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
60. Tümen, B., *Kıyı alanlarının kamusal kullanımının değerlendirilmesi: Mersin kenti örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 2024.
61. Türk, F. N., *Van gölü çevresinin turizm ve rekreasyonel kullanım açısından incelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2023.
62. Uzun, T., *İstanbul Boğazı Anadolu Yakası iskele meydanları,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
63. Ünlü, Ö., *Kıyı alanlarındaki mülkiyet sorunlarının değerlendirilmesi: Bursa ili Mudanya ilçesi örneği,* Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2022.
64. Vargün, D., *Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü ve çevre kıyılarının yeşil altyapı potansiyellerinin araştırılması,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2025.

65. Yakut, G., *Antalya Konyaaltı kıyı kesimindeki değişimlerin ve kamusal alanlarının kullanımlarının peyzaj mimarlığı açısından irdelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2022.

66. Yardımcı, M. C., *Kentsel kıyı alanlarında kıyıya kamu erişimini sağlama ölçütleri "Bakırköy, Yeşilköy-Yeşilyurt kentsel kıyı bölgesi örneğinde",* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.

67. Yavuz Özdemir, F., *Beyşehir Gölü sulak alanlarının ekolojik yerleşim planlaması açısından incelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2004.

68. Yurttürk Gedikli, F., *Samsun kent merkezi kıyı dolgu alanlarının oluşum sürecinin fiziksel ve sosyal açıdan değerlendirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2022.

THE SCIENTIFIC FOOTPRINT OF A SILENT EPIDEMIC GLOBAL PUBLICATION TRENDS IN POSTMORTEM TOXICOLOGY STUDIES ON FENTANYL AND ITS DERIVATIVES

Asst. Prof. Dr. Fatma CAVUS YONAR

Istanbul University-Cerrahpasa, Institute of Forensic Sciences and Legal Medicine,

fatma.cavus@iuc.edu.tr - ORCID:0000 0001 5941 8434

ABSTRACT

Fentanyl and its derivatives have become one of the most critical areas of investigation in forensic toxicology in recent years, in parallel with the global increase in opioid-related deaths. This study aims to elucidate the scientific development, thematic trends, and collaboration structures of the postmortem toxicology literature on fentanyl and synthetic opioid analogues using bibliometric methods. To this end, publications indexed in the Web of Science Core Collection database were analyzed, and annual publication trends, author, institutional and country collaborations, cited documents and journals, as well as keyword co-occurrence patterns were examined using VOSviewer software. The findings indicate a pronounced increase in postmortem toxicology studies on fentanyl and its derivatives after 2017. The intellectual core of the literature was found to be concentrated around specific authors and journals, with the Journal of Analytical Toxicology identified as the central publication platform in this field. Keyword analyses revealed that early studies primarily focused on the fundamental toxicology and analytical detection of synthetic opioids, whereas more recent literature has increasingly emphasized fentanyl analogues, benzimidazole (nitazene) derivatives, metabolic pathways, and advanced analytical techniques. Analyses of institutional and international collaborations demonstrate that, while the field remains strongly US-centered, it has acquired a more global structure in recent years through growing contributions from European and Asian countries. In conclusion, this bibliometric analysis demonstrates that the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives has evolved into a rapidly expanding, multidisciplinary, and application-oriented research field, providing an evidence-based framework for future forensic and public health–oriented studies.

Keywords: Fentanyl, postmortem toxicology, synthetic opioids, bibliometric analysis, forensic sciences

1. INTRODUCTION

Fentanyl and its derivatives have become one of the most critical subjects of investigation in forensic sciences in recent years, in parallel with the global increase in opioid-related mortality. First developed in the 1960s as a potent analgesic, fentanyl is a synthetic opioid approximately 50–100 times more potent than morphine. Although it has legitimate clinical applications, fentanyl analogues introduced into illicit drug markets through illegal production and distribution channels have created a serious public health and forensic toxicology problem. The high potency of these substances, their narrow therapeutic-to-toxic dose range, and the wide diversity of their chemical analogues pose significant challenges for interpretation in postmortem forensic investigations (Armenian et al., 2018; Kuczynska et al., 2018). From a forensic science perspective, fentanyl and its derivatives are of particular importance for determining the cause of death, classifying drug-related intoxications, evaluating polydrug use, and conducting epidemiological surveillance. In this context, postmortem toxicological analyses constitute a primary data source for the scientific monitoring and assessment of the fentanyl crisis.

Fentanyl is a synthetic opioid belonging to the phenylpiperidine class and exhibits high affinity primarily for μ-opioid receptors. In addition to its potent analgesic effects, fentanyl can cause serious adverse effects, including respiratory depression, sedation, and loss of consciousness. Its pharmacological profile, particularly when administered via intravenous or inhalational routes, is characterized by rapid onset of action and the potential to result in fatal outcomes within a short time frame; therefore, it requires careful evaluation in forensic casework (Suzuki & El-Haddad, 2017). Numerous fentanyl analogues have been identified, including acetylfentanyl, carfentanil, sufentanil, alfentanil, remifentanil, and furanylfentanyl. Among these, carfentanil is approximately 10.000 times more potent than morphine and can produce lethal effects even at extremely low concentrations. This extreme potency underscores the critical importance of high analytical sensitivity in the examination of postmortem samples (DEA, 2020).

From a forensic toxicology perspective, fentanyl and its derivatives are of particular importance in three main respects: (i) determination of the cause and mechanism of death, (ii) analytical challenges related to detection and quantification, and (iii) difficulties in interpretation and reporting of toxicological findings. In postmortem cases, fentanyl is frequently detected in combination with other substances, such as benzodiazepines, alcohol, other opioids, or

stimulants. This polydrug context raises critical questions as to whether death should be attributed to a single substance or to combined toxic effects. Furthermore, the phenomenon of postmortem redistribution further complicates the interpretation of drug concentrations in blood and tissues, thereby increasing the complexity of forensic toxicological evaluations (Drummer, 2007).

In postmortem toxicological analyses, fentanyl can be investigated in a variety of biological matrices, including blood (femoral and cardiac), urine, bile, vitreous humor, as well as liver and brain tissues. Femoral blood is among the preferred specimens due to its relatively lower susceptibility to postmortem redistribution. Nevertheless, in certain cases, only tissue samples or alternative biological fluids may be available for analysis (McIntyre & Anderson, 2012). From an analytical perspective, the most commonly employed techniques include gas chromatography mass spectrometry (GC–MS), liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC–MS/MS), and high-resolution mass spectrometry (HRMS). Among these, LC–MS/MS is widely regarded as the gold standard for the simultaneous detection of fentanyl and its analogues at low concentrations. However, the continuous emergence of new and structurally modified analogues necessitates the regular updating of existing spectral libraries and analytical methods (Kahl et al., 2018).

In deaths associated with fentanyl and its derivatives, the forensic interpretation of toxicological findings requires moving beyond the classical “lethal concentration” approach. Reported postmortem fentanyl concentrations in the literature exhibit a wide range of variability, and in some cases, fatal outcomes have been documented even at levels that could be considered within the therapeutic range. This variability highlights the influence of factors such as individual tolerance, route of administration, concomitant substance use, and underlying health conditions (Olson et al., 2010). In forensic reporting, toxicological results must therefore be evaluated holistically in conjunction with autopsy findings, scene investigation, and witness statements. Failure to adopt such an integrated approach may result in false-negative or false-positive interpretations, which can directly impact judicial processes.

Over the past two decades, a marked increase has been observed in postmortem toxicology studies focusing on fentanyl and its derivatives. Although publications originating from North America predominate, there has been a steadily growing academic interest in this field in Europe and Asia as well. Bibliometric studies have demonstrated that keywords such as “fentanyl overdose,” “synthetic opioids,” “postmortem toxicology,” and “drug-related death”

have assumed a central position in the literature in recent years (Prekupec et al., 2017). These trends indicate that, within forensic sciences, not only analytical capacity but also epidemiological surveillance and early warning systems have gained increasing importance. In this context, postmortem toxicology data play a critical role in monitoring substance use trends at both national and international levels.

Fentanyl and its derivatives currently represent one of the most important areas of investigation in forensic sciences, requiring a distinctly multidisciplinary approach. Their high potency, the existence of numerous analogues, and their frequent association with polydrug use substantially complicate postmortem toxicological analyses, both from technical and interpretative perspectives. Consequently, the use of advanced analytical methodologies, continuously updated reference libraries, and standardized interpretative frameworks is of critical importance in forensic toxicology laboratories. Research conducted within the context of forensic sciences contributes not only to the clarification of individual cases but also to the scientific monitoring of the fentanyl crisis, which has been described globally as a “silent epidemic.” In this context, the aim of the present study is to elucidate the scientific reflections of the increasingly deepening fentanyl and derivative related deaths in the forensic science literature on a global scale. To this end, international publications focusing on fentanyl and its analogues in the field of postmortem toxicology were quantitatively and qualitatively analyzed using bibliometric methods. The temporal evolution of publication productivity, leading countries and research centers, collaboration networks, dominant journals, and thematic research trends were systematically mapped. This study seeks to make visible how fentanyl-related mortality is addressed within forensic toxicology, to identify areas of concentration and gaps in the existing body of knowledge, and to provide an evidence-based framework capable of guiding future forensic, analytical, and epidemiological research.

2. METHODOLOGY

In line with the objective of this study, scientific publications focusing on postmortem toxicology related to fentanyl and its derivatives were systematically examined using a bibliometric mapping approach. Within this framework, recent annual publication trends in the literature were identified, along with leading journals and publishers, productive institutions, authors and countries, authorship and citation networks, highly cited publications, and keyword patterns. Through the analysis of these findings, the study aims to present a comprehensive overview of the scientific reflections of fentanyl- and synthetic opioid–related deaths in the

forensic toxicology literature, thereby enabling researchers planning future studies in this field to more clearly assess current trends, areas of concentration, and potential research gaps. Accordingly, a quantitative research design was adopted, and the data were generated using bibliometric analysis methods. Bibliometric methodology involves the application of quantitative techniques such as citation analysis to bibliometric data (e.g., publication and citation units). Since this study is based on bibliometric mapping of published data and does not involve human or animal subjects, ethical approval was not required.

Data were retrieved in December 2025 by entering the search query *TS = ((fentanyl OR "fentanyl analog" OR "synthetic opioid" OR carfentanil) AND (forensic OR "forensic toxicology" OR postmortem OR autopsy))* into the Web of Science (WoS) Core Collection database. Within the time span of 2010–2026, a total of 751 publications were identified, including 724 articles, 81 review articles, and 22 early access publications. Following the execution of the search query, no additional restrictions were applied other than publication type, and the resulting publication list was exported as a tab-delimited file. Using metadata provided by the WoS platform, bibliometric mapping analyses including keyword co-occurrence, co-citation, citation, and co-authorship analyses were conducted with VOSviewer software (version 1.6.15) (van Eck & Waltman, 2014). The retrieved dataset was examined across multiple dimensions, including authors, citations, journals, countries, institutions, keywords, and abstracts. Only publications indexed in the Web of Science database were considered as the data source. The exclusion of studies indexed in other databases, such as TUBITAK ULAKBIM and the Council of Higher Education National Thesis Archive in Türkiye, as well as international databases including Scopus and PubMed, and sources not yet available in online circulation, constitutes the most significant limitation of this study.

3. RESULTS

3.1. Publication Trends

The distribution of publications by year presented in Figure 1 clearly illustrates the temporal evolution of the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives. Between 2010 and 2016, publication counts remained relatively low and limited, indicating that fentanyl was still addressed as a secondary research topic within the forensic science literature during this period. In contrast, a pronounced inflection point is observed from 2017 onward, with a rapid and notable increase in the number of publications, particularly during the 2018–2019 period. This acceleration can be attributed to the global rise in synthetic opioid–related deaths, the expanding illicit circulation of fentanyl and its analogues, and the increased adoption of

advanced analytical techniques in forensic toxicology. As shown in Figure 1, the years 2020–2021 represent the peak of publication productivity, reflecting the establishment of fentanyl as a central research focus within the forensic science literature. Although fluctuations in publication numbers are observed between 2022 and 2025, the sustained high level of output indicates that this topic has transitioned from a transient area of interest to a stable and contemporary research domain. The low number of publications recorded for 2026 should be interpreted with caution, as this reflects the incomplete nature of the year and delays associated with database indexing processes, and therefore should not be included in trend evaluation. Overall, the temporal pattern illustrated in Figure 1 demonstrates that the characterization of fentanyl and its derivatives as a “silent epidemic” is strongly substantiated by the scientific literature within the context of forensic toxicology.

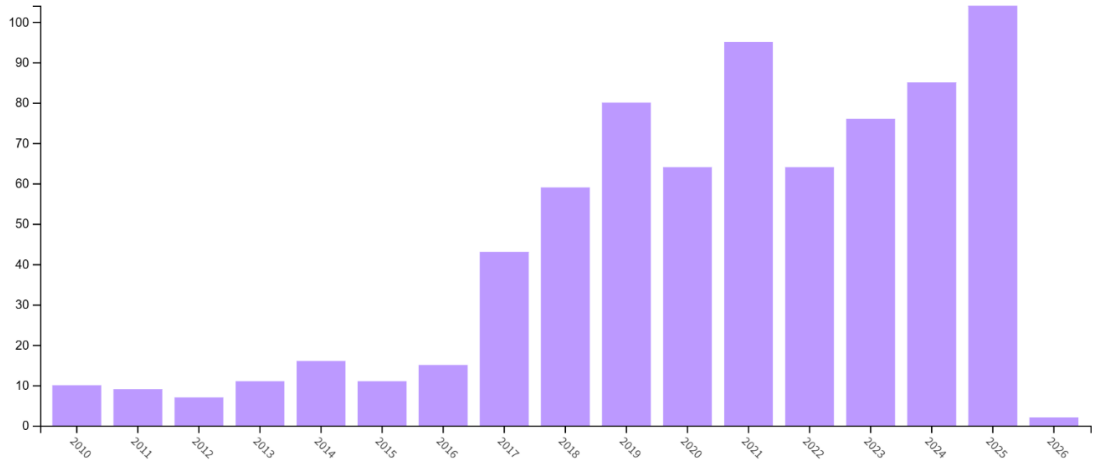


Figure 1. Annual distribution of publications on postmortem toxicology studies related to fentanyl and its derivatives (2010–2026).

3.2. Author Co-citation Analysis

The author co-citation network presented in Figure 2 reveals the intellectual structure of the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives and highlights the key researchers shaping this field. In the network, node size reflects the frequency with which authors are co-cited, while the links between nodes represent shared reference patterns within the literature. Several authors most notably Michael H. Baumann, Giuseppe Basile, Volker Auwärter, and Craig McKenzie occupy central positions with high co-citation strength. This finding indicates that these researchers constitute the theoretical and methodological core of the literature in the areas of postmortem toxicology, synthetic opioid pharmacology, and forensic interpretation. Examination of the color scale shows that authors associated with earlier studies

are predominantly represented in blue–purple tones, whereas more recent publications reflecting current research trends shift toward green–yellow tones. In particular, researchers focusing on next-generation synthetic opioid analogues, advanced analytical methodologies, and epidemiological assessments tend to cluster within more recent time periods. This temporal distribution suggests that the fentanyl literature initially evolved around classical postmortem concentration studies but has, in recent years, expanded toward a more interdisciplinary and application-oriented research landscape. Overall, Figure 2 demonstrates that postmortem toxicology research on fentanyl and its derivatives is characterized by both a well established intellectual core and a dynamically evolving research network.

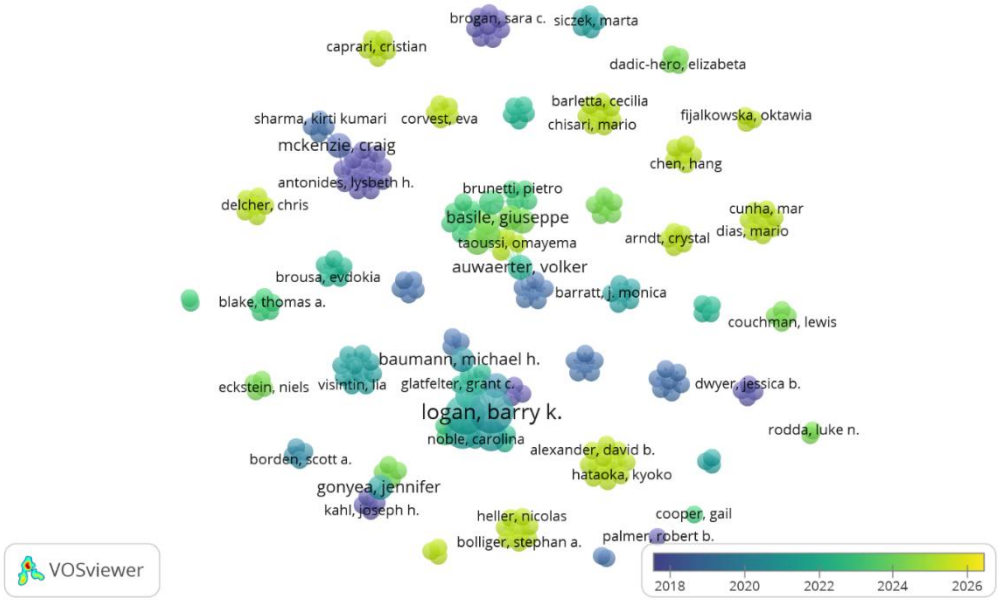


Figure 2. Author co-citation network in postmortem toxicology studies on fentanyl and its derivatives.

3.3. Institutional Collaboration Analysis

The inter-institutional collaboration network presented in Figure 3 illustrates the structure of scientific interaction at the institutional level within the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives. In the network, node size reflects the publication productivity of individual institutions, while the links between nodes represent collaborative relationships established through co-authored publications. Examination of the network reveals that official forensic and public health–oriented institutions such as the Miami-Dade Medical Examiner Department, the Office of the Chief Medical Examiner, the Centers for Disease Control and Prevention (CDC), and the Drug Enforcement Administration (DEA) occupy central positions

in the literature. This finding indicates that fentanyl- and synthetic opioid related deaths constitute a research domain that extends beyond academia and involves substantial application oriented and institutional responsibility. Another notable feature of Figure 3 is the strong interaction between universities and forensic/medicolegal institutions. Academic institutions, including Marche Polytechnic University, Arizona State University, King's College London, Goethe University, the University of Dundee, and Saarland University, collaborate closely with forensic medicine units and toxicology laboratories, thereby forming a multidisciplinary research network. Examination of the overlay visualization (color scale) shows that nodes represented in green–yellow tones, corresponding to more recent publications, are particularly concentrated around analytical technology companies (e.g., NMS Labs, AB Sciex, Shimadzu) and university–forensic institution partnerships. This pattern demonstrates that advanced analytical technologies and institutional collaborations have gained increasing importance in postmortem analyses of fentanyl and its derivatives in recent years. Overall, Figure 3 highlights that the fentanyl literature is characterized by a multi-stakeholder and dynamic collaboration structure spanning academia, forensic practice, and analytical technology.

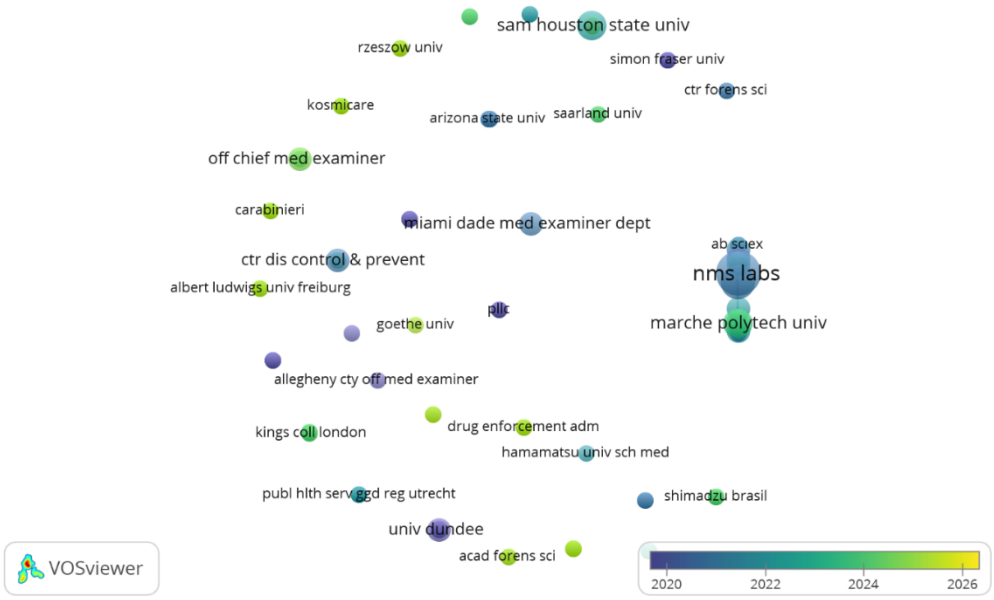


Figure 3. Inter-institutional collaboration network in postmortem toxicology studies on fentanyl and its derivatives.

3.4. International Collaboration Analysis

The international collaboration network presented in Figure 4 illustrates the global research dynamics and patterns of cross-national interaction within the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives. In the network, node size represents the publication productivity

of countries, while the links between nodes indicate collaborative relationships based on internationally co-authored publications. Examination of the network reveals that the United States (USA) occupies a distinctly central position and demonstrates the highest level of publication productivity. This finding reflects the fact that the fentanyl and synthetic opioid crisis has been particularly concentrated in the USA and has been strongly and directly mirrored in the forensic toxicology literature. Following the USA, countries such as Switzerland, Poland, China, Japan, the Netherlands, and Portugal appear in different clusters and make substantial contributions to the literature. The relatively dispersed yet multi-centered structure observed among European countries suggests that postmortem studies on fentanyl and its derivatives have diversified in accordance with national forensic systems and public health priorities. Analysis of the overlay visualization (color scale) indicates that countries contributing more recently to the literature are predominantly represented in green–yellow tones, highlighting the growing momentum of new research initiatives, particularly in Asia and Europe. Overall, Figure 4 demonstrates that postmortem toxicology research on fentanyl and its derivatives is not confined to a single geographical region; rather, it is characterized by a global collaboration network with a central emphasis around the United States.

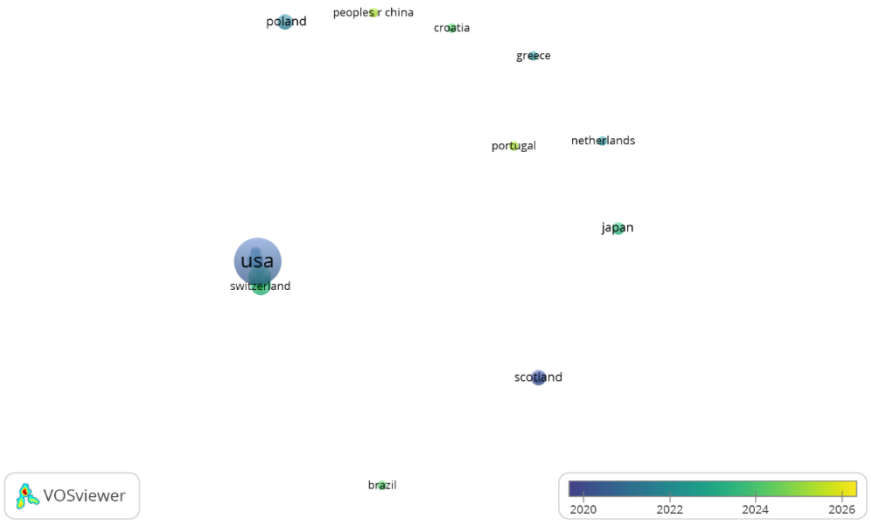


Figure 4. International collaboration network in postmortem toxicology studies on fentanyl and its derivatives.

3.5. Keyword Co-occurrence Analysis

The keyword co-occurrence network presented in Figure 5 illustrates the prominent research themes within the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives, as well as the temporal evolution of these themes. In the network, node size represents the frequency of keyword usage in the literature, links between nodes indicate conceptual co-occurrence

relationships, and the color scale reflects the average publication year of the associated studies. Examination of the network reveals that the keyword “fentanyl” constitutes the largest and most central node, forming the core of the network and demonstrating strong connections with terms such as “synthetic opioid(s),” “opioid,” “metabolism,” and “humans.” This finding indicates that fentanyl has become a central reference point within the broader context of synthetic opioids in the literature. Early-stage studies, represented by blue–purple tones in Figure 5, predominantly focused on analytical methodologies and fundamental toxicological assessments, including keywords such as “synthetic opioids,” “novel synthetic opioids,” “acetyl fentanyl,” “LC–MS,” and “metabolism.” In contrast, more recent keywords highlighted in green–yellow tones include “fentanyl analogs,” “designer drug,” “carfentanil,” “cytochrome P-450 oxidases,” and benzimidazole derivatives (e.g., nitazenes), reflecting a growing research interest in next-generation synthetic opioids, metabolic pathways, and advanced analytical approaches. Additionally, the more recent positioning of the keyword “case report” suggests an increased emphasis on case-based publications addressing rare or newly emerging substances. Overall, Figure 5 demonstrates that the fentanyl literature has evolved from classical postmortem and analytically focused studies toward more complex investigations involving novel synthetic opioid analogues, metabolomic approaches, and application-oriented forensic evaluations.

3.6. Co-citation of Cited References

The co-citation network of cited references presented in Figure 6 reveals the foundational studies that constitute the intellectual core of the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives, as well as the conceptual relationships among these works. In the network, node size reflects the frequency with which individual documents are co-cited in the literature, while the links between nodes represent co-citation relationships among references. Examination of the network indicates that the study by Mohr et al. occupies a central position and represents one of the key reference points in the literature due to its high co-citation strength (Mohr et al., 2016). This study forms the methodological backbone of the field, particularly with regard to the interpretation of postmortem fentanyl concentrations and the

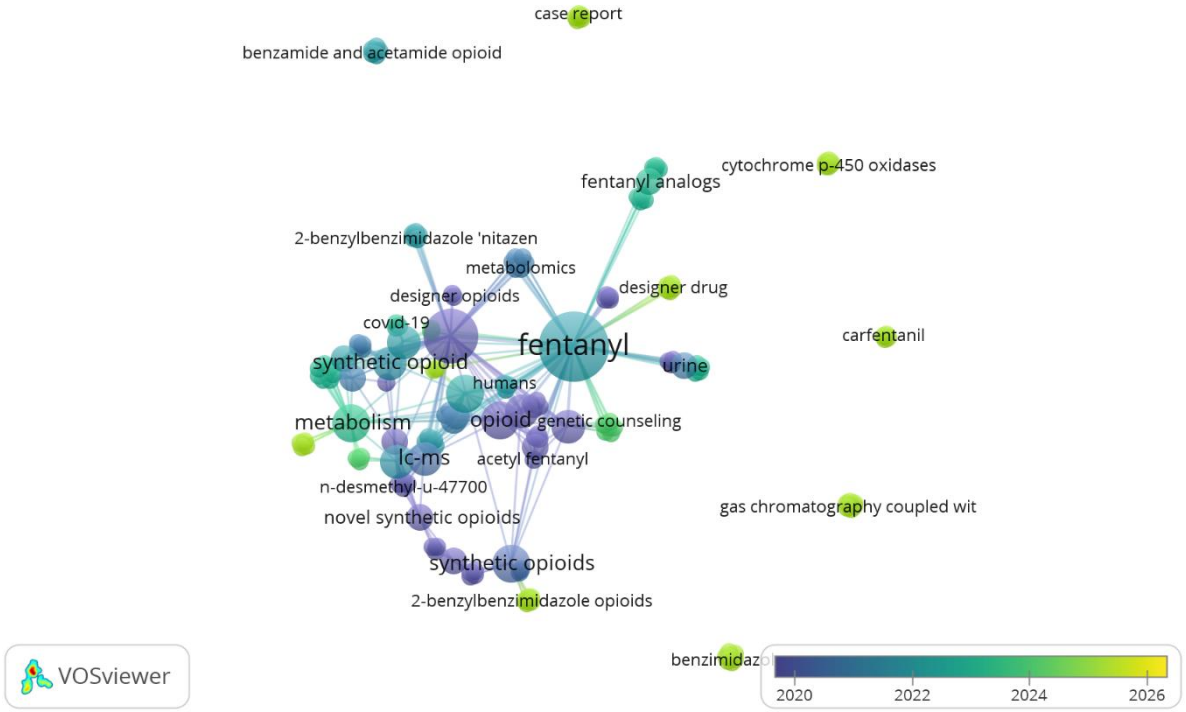


Figure 5. Keyword co-occurrence network in postmortem toxicology studies on fentanyl and its derivatives.

forensic evaluation of synthetic opioid–related deaths. In addition, Figure 6 shows that studies such as those by Concheiro et al. and Coopman et al. cluster around Mohr et al. (2016), indicating the presence of a strong core literature focused on analytical methods, metabolism, and postmortem interpretation (Concheiro et al.,2018; Coopman et al.,2007; Mohr et al., 2016). Earlier studies located on the left side of the map, including Anderson et al. and Ferner (2008), represent classical toxicological approaches and form the historical foundation of the literature (Anderson et al.,2000; Ferner, 2008). In contrast, more recent publications positioned on the right side of the network, such as Ballotari et al., reflect the growing importance of fentanyl and next-generation synthetic opioids in contemporary forensic toxicology (Ballotari et al.,2024). Overall, Figure 6 demonstrates that the fentanyl literature exhibits a multilayered intellectual structure, evolving from early toxicological investigations toward advanced analytical techniques and increasingly complex synthetic opioid profiles.

3.7. Co-citation of Cited Journals

The network map of cited journals presented in Figure 7 illustrates the journal-level intellectual structure and interdisciplinary interactions within the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives. In the map, node size represents the frequency with

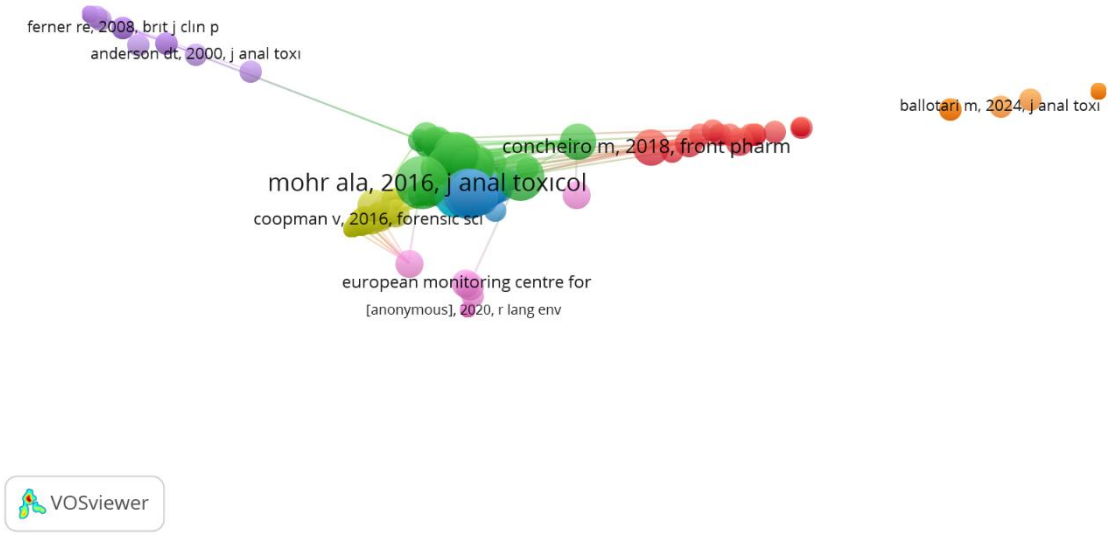


Figure 6. Co-citation network of cited references in postmortem toxicology studies on fentanyl and its derivatives.

which journals are co-cited, while links between nodes indicate inter-journal co-citation relationships. Examination of the network reveals that the Journal of Analytical Toxicology occupies a central position and emerges as the journal with the highest co-citation intensity. This finding demonstrates the pivotal role of this journal in shaping the analytical detection of fentanyl and synthetic opioids, the interpretation of postmortem concentrations, and the methodological foundations of forensic toxicology. Figure 7 further shows that journals such as the Journal of Forensic Sciences, Forensic Science International, Clinical Toxicology, Frontiers in Pharmacology, and Drug Testing and Analysis cluster densely around the Journal of Analytical Toxicology. This clustering indicates that the literature exhibits a strongly multidisciplinary structure at the intersection of forensic toxicology, clinical toxicology, pharmacology, and analytical chemistry. Journals positioned on the right side of the map including Forensic Chemistry, Analytical Chemistry, Journal of Chromatography B, and Analytical and Bioanalytical Chemistry represent studies focused on advanced analytical techniques and mass spectrometry, thereby reflecting methodological depth. In contrast, journals located on the left side of the network, such as the Journal of Medical Toxicology, Addiction Medicine, International Journal of Drug Policy, and Anesthesiology, emphasize the clinical and public health dimensions of the fentanyl crisis. Overall, Figure 7 demonstrates that the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives is not confined to a single

discipline but rather constitutes an integrated scientific ecosystem spanning forensic sciences, clinical medicine, pharmacology, and analytical chemistry.

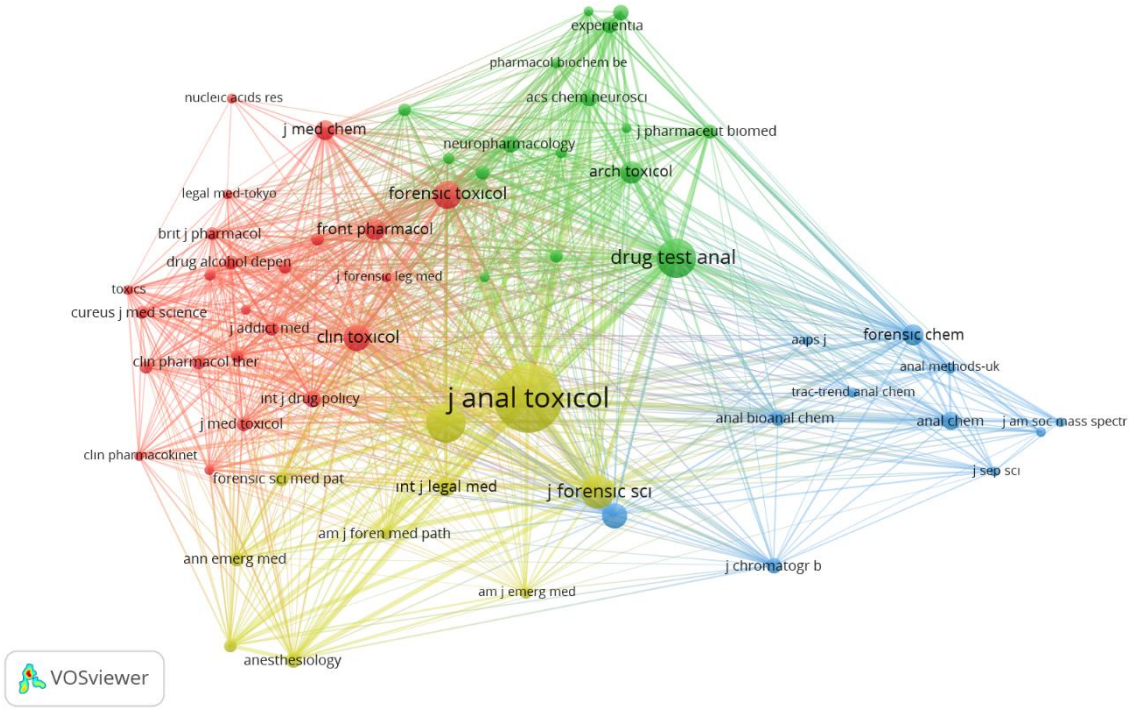


Figure 7. Network map of cited journals in postmortem toxicology studies on fentanyl and its derivatives.

3.8. Bibliographic Coupling of Journals

The bibliographic coupling network of journals presented in Figure 8 illustrates current research trends within the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives, as well as the thematic proximity among actively publishing journals. In this analysis, node size represents the number of publications attributed to each journal within the dataset, while links between nodes indicate the degree of similarity based on shared references. Examination of the network reveals that the Journal of Analytical Toxicology occupies a central position and exhibits strong bibliographic connections with journals such as Forensic Toxicology, Journal of Forensic Sciences, Forensic Science International, and Drug Testing and Analysis. This pattern indicates that recent studies on fentanyl and synthetic opioids are predominantly concentrated within the domains of analytical toxicology and forensic sciences. Figure 8 further shows that journals including Archives of Toxicology, Journal of Toxicological Sciences, and Drug and Alcohol Dependence form more peripheral yet thematically related clusters. Analysis of the overlay visualization (color scale) indicates that journals represented in green–yellow tones, corresponding to more recent publications, are particularly concentrated around Drug Testing

and Analysis and Archives of Toxicology. This trend reflects a growing interest in advanced analytical methodologies, novel synthetic opioid analogues, and toxicokinetic evaluations in recent years. In contrast, journals positioned in blue–purple tones represent more established studies that form the methodological foundation of the field. Overall, Figure 8 demonstrates that the contemporary journal landscape of the fentanyl literature is shaped at the intersection of analytical toxicology, forensic sciences, and clinical toxicology, highlighting the dynamic evolution of this research area.

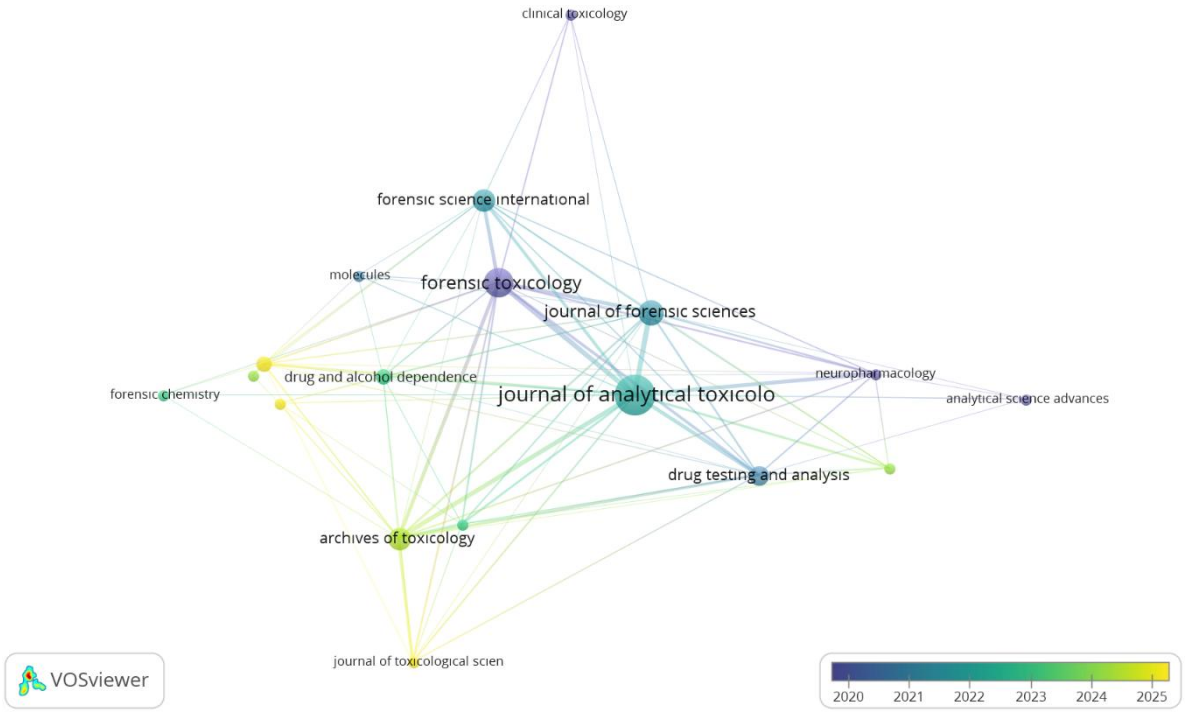


Figure 8. Bibliographic coupling network of journals in postmortem toxicology studies on fentanyl and its derivatives.

4. DISCUSSION

In this study, the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives was examined multidimensionally using bibliometric methods, revealing the temporal development, intellectual core, thematic orientations, and institutional and international collaboration structures of the field. The distribution of publications over time (Figure 1) demonstrates a pronounced inflection point and a rapid growth trend, particularly after 2017. This finding parallels the global increase in synthetic opioid related deaths and the transformation of fentanyl into a major public health crisis. Such acceleration in the literature suggests that forensic

toxicology has evolved beyond a purely case based discipline into a multidisciplinary research domain incorporating epidemiological and advanced analytical dimensions. Author co-citation analysis (Figure 2) revealed a well-defined intellectual core within the field. The central positions occupied by researchers such as Logan, Mohr, Baumann, Auwärter, and Concheiro highlight their guiding role in the interpretation of postmortem fentanyl concentrations, synthetic opioid pharmacology, and the standardization of analytical methodologies. The clustering of more recent studies in distinct groups within the overlay visualization indicates that the field is not static but is dynamically expanding in response to emerging substances, novel methodologies, and evolving forensic challenges. The inter-institutional collaboration network (Figure 3) demonstrates that the fentanyl literature is strongly structured along an academia forensic practice analytical technology axis. In particular, the close collaboration between medical examiner offices, public health institutions, and universities indicates that postmortem toxicology data serve not only scientific publication purposes but also application-oriented and policy driven functions. This observation underscores that fentanyl research extends beyond traditional laboratory-based investigations and is increasingly informed by real-world forensic data. International collaboration analysis (Figure 4) reveals a marked concentration of publications centered in the United States, which can be attributed to the earlier onset and greater severity of the fentanyl crisis in North America. Nevertheless, the growing contributions from European and Asian countries in recent years indicate that fentanyl has become a global concern and that international awareness within the field of postmortem toxicology is increasing. Keyword co-occurrence analysis (Figure 5) clearly illustrates the thematic evolution of the literature. While early studies primarily focused on the fundamental toxicological properties and analytical detection of synthetic opioids, more recent research emphasizes fentanyl analogues, benzimidazole (nitazene) derivatives, metabolic pathways, and advanced analytical techniques. This shift reflects the escalating analytical challenges faced by forensic toxicology and the need for continuous methodological adaptation. Finally, the network maps of cited references and cited journals (Figures 6 and 7) clearly delineate both the intellectual and journal level cores of the field. The central position of the Journal of Analytical Toxicology indicates that research on fentanyl and its derivatives is predominantly approached from an analytical toxicology perspective. In contrast, bibliographic coupling analysis (Figure 8) highlights the rising influence of journals such as Drug Testing and Analysis, Archives of Toxicology, and Forensic Toxicology, providing insight into current publication trends and emerging focal points within the literature.

This bibliometric analysis demonstrates that the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives has evolved into a rapidly expanding, multidisciplinary, and application-oriented research field. In particular, the sharp increase in publication output after 2017 indicates that the characterization of fentanyl as a “silent epidemic” is strongly reflected in the scientific literature. The field is situated at the intersection of forensic toxicology, clinical toxicology, pharmacology, analytical chemistry, and public health, and this multidimensional structure mirrors the complex nature of fentanyl-related deaths.

The findings of this study highlight the critical importance of advanced analytical methodologies, international collaboration, and standardized interpretative frameworks for the analysis of fentanyl and next-generation synthetic opioids in postmortem toxicology. Thematic gaps and emerging trends identified through bibliometric mapping provide valuable guidance for future research directions. In particular, the early detection of novel analogues, the elucidation of metabolic profiles, and the refinement of postmortem interpretation criteria emerge as priority research areas with significant implications for both forensic practice and public health policy.

In conclusion, this study systematically delineates the current landscape of the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives, offering an evidence-based reference framework for researchers, forensic practitioners, and policy makers.

5. LIMITATIONS

The findings of this study should be interpreted within the context of certain methodological limitations. First, the analyses were limited to publications indexed in the Web of Science Core Collection database, which may have resulted in the exclusion of relevant studies indexed in other databases such as Scopus, PubMed, or regional indexing systems. Nevertheless, given the high indexing standards of Web of Science, the dataset is considered to be representative of the core literature in this field. Second, bibliometric analyses inherently rely on publication- and citation-based metrics, which do not directly measure the actual scientific or practice-oriented impact of individual studies. In addition, variations in terminology used by authors particularly with respect to fentanyl analogues and novel synthetic opioids may have led to conceptual dispersion in keyword co-occurrence analyses. Finally, the limited representation of case reports and official institutional reports (e.g., forensic authority reports and national surveillance data), which play a significant role in postmortem toxicology, within bibliometric databases may have restricted the full incorporation of application-oriented knowledge into the

analysis. These limitations may be addressed in future research through the inclusion of multiple databases and the integration of qualitative content analysis approaches.

6. CONCLUSION

This study demonstrates that the postmortem toxicology literature on fentanyl and its derivatives reflects not only academic development but also knowledge production processes that are directly linked to forensic practice. Bibliometric findings indicate that advanced analytical techniques particularly LC–MS/MS and high-resolution mass spectrometry play a central role in the analysis of fentanyl and next-generation synthetic opioids and have become indispensable tools for forensic laboratories. This highlights the need for continuous methodological updates, strengthening of analytical infrastructure, and sustained training of personnel in forensic toxicology laboratories, thereby providing a practical roadmap for capacity building. Moreover, the study reveals that the fentanyl literature is strongly shaped by collaborations among forensic medicine institutions, universities, and analytical technology providers. This multi-stakeholder structure demonstrates that postmortem toxicology findings contribute not only to scientific publication output but also to accurate determination of cause of death, standardization of forensic reporting, and the development of early warning mechanisms for public health. In particular, emerging themes identified through bibliometric mapping such as novel fentanyl analogues, benzimidazole derivatives, and metabolic profiling offer concrete indicators for prioritizing substances and analytical strategies in forensic toxicology practice. In conclusion, this study provides an evidence-based and strategic perspective on fentanyl and its derivatives within the field of forensic toxicology. The findings offer a practical and sustainable reference framework for researchers and practitioners alike, facilitating a clearer understanding of the current state of the literature, identification of methodological gaps, and guidance for future forensic and public health–oriented interventions.

REFERENCES

Anderson, D. T., & Muto, J. J. (2000). Duragesic® transdermal patch: postmortem tissue distribution of fentanyl in 25 cases. Journal of analytical toxicology, 24(7), 627-634.

Armenian, P., Vo, K. T., Barr-Walker, J., & Lynch, K. L. (2018). Fentanyl, fentanyl analogs and novel synthetic opioids: A comprehensive review. Neuropharmacology, 134, 121–132.

Ballotari, M., Truver, M. T., Dhoble, L. R., Kinsey, A. M., Hoyer, J. L., Chronister, C. W., & Goldberger, B. A. (2024). A postmortem case report involving fentanyl, desalkylgidazepam, and bromazolam. Journal of Analytical Toxicology, 48(8), 636-640.

Baumann, M. H., Tocco, G., Papsun, D. M., Mohr, A. L., Fogarty, M. F., & Krotulski, A. J. (2020). U-47700 and its analogs: non-fentanyl synthetic opioids impacting the recreational drug market. Brain sciences, 10(11), 895.

Brief, N. F. L. I. S. Fentanyl and Fentanyl-Related Substances Reported in NFLIS, 2015–2016, Drug Enforcement Agency Diversion Control Division, 2018.

Concheiro, M., Chesser, R., Pardi, J., & Cooper, G. (2018). Postmortem toxicology of new synthetic opioids. Frontiers in pharmacology, 9, 1210.

Coopman, V., Cordonnier, J., Pien, K., & Van Varenbergh, D. (2007). LC–MS/MS analysis of fentanyl and norfentanyl in a fatality due to application of multiple Durogesic® transdermal therapeutic systems. Forensic Science International, 169(2-3), 223-227.

Drummer, O. H. (2007). Postmortem toxicology of drugs of abuse. Forensic Science International, 165(2–3), 199–203.

Ferner, R. (2008). Post-mortem clinical pharmacology. British journal of clinical pharmacology, 66(4), 430-443.

Kahl, J. H., Gonyea, J., Humphrey, S. M., Hime, G. W., & Boland, D. M. (2018). Quantitative analysis of fentanyl and six fentanyl analogs in postmortem specimens by UHPLC–MS-MS. Journal of Analytical Toxicology, 42(8), 570-580.

Kuczyńska, K., Grzonkowski, P., Kacprzak, Ł., & Zawilska, J. B. (2018). Abuse of fentanyl: an emerging problem to face. Forensic science international, 289, 207-214.

McIntyre, I. M., & Anderson, D. T. (2012). Postmortem fentanyl concentrations: a review. J Forensic Res, 3(157), 2.

Mohr, A. L., Friscia, M., Papsun, D., Kacinko, S. L., Buzby, D., & Logan, B. K. (2016). Analysis of novel synthetic opioids U-47700, U-50488 and furanyl fentanyl by LC–MS/MS in postmortem casework. Journal of Analytical Toxicology, 40(9), 709-717.

Olson, K. N., Luckenbill, K., Thompson, J., Middleton, O., Geiselhart, R., Mills, K. M., ... & Apple, F. S. (2010). Postmortem redistribution of fentanyl in blood. American Journal of Clinical Pathology, 133(3), 447-453.

Prekupec, M. P., Mansky, P. A., & Baumann, M. H. (2017). Misuse of novel synthetic opioids: a deadly new trend. Journal of addiction medicine, 11(4), 256-265.

Suzuki, J., & El-Haddad, S. (2017). A review: Fentanyl and non-pharmaceutical fentanyls. Drug and Alcohol Dependence, 171, 107–116.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In Measuring scholarly impact: Methods and practice (pp. 285-320). Cham: Springer International Publishing.

FROM THE SILENT REGIONS OF THE GENOME TO ADDICTION: ncDNA and EPIGENETIC BIOMARKERS

MSc. Sena Nur KADEM
Istanbul University-Cerrahpasa, Institute of Forensic Sciences and Legal Medicine,
senakaadem@gmail.com - ORCID: 0009 0001 7429 3307

Asst. Prof. Dr. Fatma CAVUS YONAR
Istanbul University-Cerrahpasa, Institute of Forensic Sciences and Legal Medicine,
fatma.cavus@iuc.edu.tr - ORCID:0000 0001 5941 8434

ABSTRACT

Addiction is a complex neurobiological condition characterized by persistent neuroadaptive changes within the dopaminergic reward system. In addition to environmental and psychosocial factors, genomic studies indicate that genetic components account for approximately 40–60% of addiction vulnerability. Polymorphisms in genes associated with dopaminergic and serotonergic pathways such as DRD2, DRD4, COMT, and SLC6A4 play a critical role in reward perception and substance sensitivity. Moreover, short tandem repeat sequences located in non-coding DNA regions (ncSTRs) have been reported to contribute to epigenetic regulatory mechanisms. The aim of this study is to evaluate the association between ncSTR variations, candidate gene polymorphisms, and miRNA-based epigenetic biomarkers with addiction within a multi-layered risk modeling framework. The study is based on a literature review covering the period from 2010 to 2025, focusing on addiction genetics, epigenetic biomarkers, and multivariate classification approaches. Searches conducted in PubMed, Scopus, and Web of Science revealed that integrative models combining genetic and epigenetic data have become increasingly prominent. In line with these methodological trends, the proposed model consists of genetic (SNP), non-coding DNA (ncSTR), epigenetic (miRNA expression and DNA methylation), and behavioral layers. Simulation results demonstrate that the predictive accuracy of addiction susceptibility remains below 65% when relying solely on single-layer genetic models, whereas integration of genetic and epigenetic layers increases accuracy to approximately 90%. In particular, the inclusion of ncSTR regions significantly enhances risk classification performance. These findings indicate that the combined evaluation of genetic and

epigenetic data provides a robust approach for predicting addiction risk. Nevertheless, genetic susceptibility must be interpreted within clearly defined ethical boundaries and used exclusively for preventive and rehabilitative purposes. The establishment of a national addiction genetics data infrastructure in Turkiye would provide a critical foundation for future interdisciplinary and predictive forensic genetics research.

Anahtar Kelimeler: Addiction genetics, ncSTR, epigenetic biomarkers, genetic risk classification, forensic bioinformatics.

1. INTRODUCTION

Substance addiction is a complex psychiatric disorder characterized by a chronic course and recurrent relapses, leading to severe and persistent consequences that extend from individual functioning to broader societal structures (Koob & Kreek, 2007). Clinically, addiction is defined by the persistent seeking and use of psychoactive substances despite profound physical, psychological, and social harms, accompanied by a marked impairment in self-regulatory control mechanisms (American Psychiatric Association, 2013).From a neurobiological perspective, addiction reflects a maladaptive form of neural plasticity, arising from repeated substance exposure that induces enduring functional reorganization within neural circuits governing reward, motivation, and learning, ultimately resulting in longterm behavioral alterations (Nestler, 2014).

The development of addiction is too complex to be explained by a single genetic model and is therefore considered a multidimensional process shaped by the dynamic interaction between genetic predisposition, early life experiences, and environmental exposures (Figure 1) (Goldman et al., 2005). Although epidemiological evidence indicates that approximately half of the vulnerability to addiction is attributable to hereditary factors, the specific molecular mechanisms underlying this susceptibility have not yet been fully elucidated (Peña et al., 2014). This gap in knowledge helps explain the pronounced interindividual variability in addiction outcomes among individuals exposed to similar substances and why not all exposed individuals develop addiction (Wong et al., 2011). These individual differences highlight that genetic variation alone is insufficient and underscore the need to understand how genetic backgrounds are modulated by environmental stressors and socio-environmental conditions. In this context, epigenetic mechanisms provide novel biological explanatory frameworks by serving as a functional interface between genetic architecture and environmental experience in the emergence and persistence of addictive behaviors.

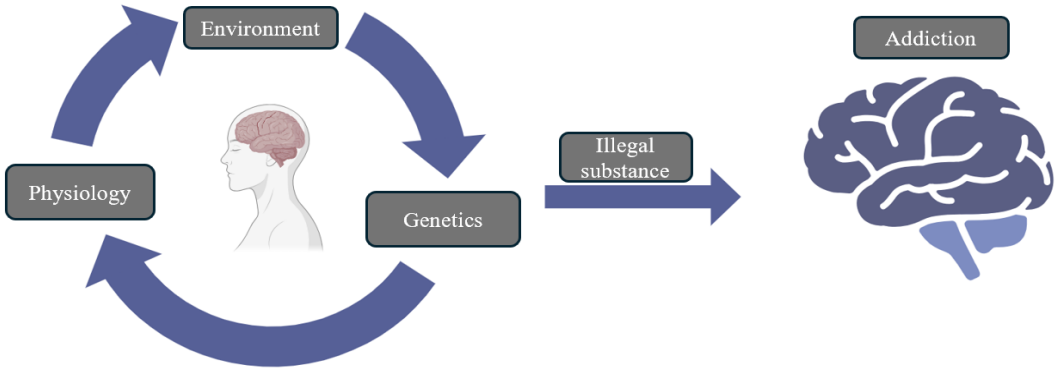


Figure 1. Schematic Representation Illustrating How the Interaction of Physiological, Genetic, and Environmental Factors Manifests at the Behavioral Level During Exposure to Addictive Substances.

Epigenetics is defined as the ensemble of biochemical mechanisms that regulate gene expression without altering the underlying DNA sequence (Jaenisch & Bird, 2003). Originally introduced by Waddington, this concept is now regarded as a dynamic regulatory framework that explains how gene activity is controlled throughout the lifespan of an organism. Epigenetic regulation mediated through DNA methylation, histone modifications, and non-coding RNAs enables precise temporal and spatial control of gene transcription (Vidaki et al., 2013). These mechanisms generate persistent or semi-persistent changes in gene expression in response to environmental stimuli, thereby allowing the same genetic sequence to give rise to distinct biological outcomes.

In the context of addiction, epigenetic influences are considered at two fundamental levels. First, repeated substance exposure during adolescence and adulthood induces epigenetic reprogramming in specific gene clusters, leading to persistent alterations in gene expression profiles and an increased individual vulnerability to addiction (Nestler, 2014). Second, environmental influences encountered throughout the lifespan reshape gene expression patterns via epigenetic mechanisms, thereby contributing to the determination of long-term sensitivity to addictive substances.

These epigenetic rearrangements confer long-term stability to chromatin organization and the associated transcriptional profiles, thereby playing a central role in the development of both individual vulnerability to addiction and the persistent neural maladaptations that accompany addictive disorders (Robison & Nestler, 2011). This framework demonstrates that addiction is shaped not merely by transient molecular responses but by enduring epigenetic reprogramming.

However, the specific epigenetic mechanisms involved and the brain regions in which such reprogramming occurs have yet to be fully elucidated. Consequently, systematic investigation of the molecular and functional characteristics of key epigenetic regulators implicated in addiction is of critical importance. In particular, variations within ncSTR regions may influence DNA methylation levels, histone modification patterns, and miRNA regulation. These mechanisms can alter dopamine receptor density, impulse control, and reward system activity in individuals predisposed to addiction.

1.1.Histone Modifications

DNA is packaged into chromatin together with histone proteins, and its fundamental structural unit is the nucleosome, which consists of the histones H2A, H2B, H3, and H4 (D'Addario et al., 2013). This highly compact organization restricts access to DNA and constitutes a critical control point for gene expression (Li et al., 2007). Covalent modifications of histone tails including acetylation, methylation, and other post translational modifications regulate chromatin conformation and thereby determine transcriptional activity (Figure 2) (Kouzarides, 2007). These modifications are dynamically controlled by "writer" and "eraser" enzymes and play a critical role in the regulation of persistent behavioral phenotypes such as addiction (Jenuwein & Allis, 2001; Walker & Nestler, 2018).

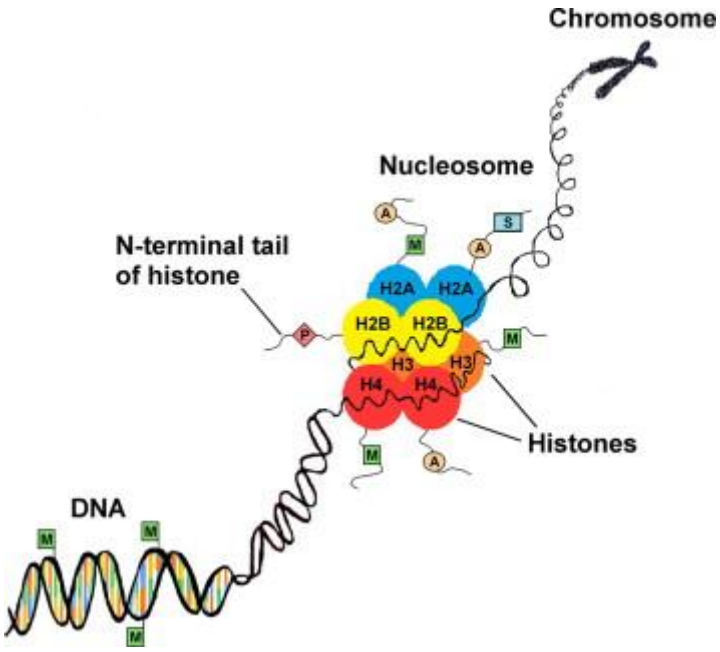


Figure 2. Nucleosome Structure and The Major Types of Modifications Occurring on Histone Tails (Kalda & Zharkovsky, 2015).

i) Histone Acetylation

There is strong evidence that addictive substances alter histone modification patterns in the brain and that these epigenetic rearrangements contribute to the persistent neural adaptations associated with addiction (Kalda et al., 2007). Histone acetylation is recognized as a fundamental epigenetic mechanism that promotes a more open chromatin conformation by neutralizing the positive charge of lysine residues on histone tails, thereby creating a transcriptionally permissive state. However, changes in histone acetylation following exposure to illicit substances are not uniform; rather, they are particularly pronounced and region specific within brain areas associated with the reward circuitry (Y. F. Huang et al., 2013).

Acute or repeated exposure to cocaine, ethanol, morphine, and methamphetamine has been associated with global increases in H3 and H4 histone acetylation in addiction-related brain regions such as the striatum, nucleus accumbens (NAc), hippocampal dentate gyrus, and basolateral amygdala (Y. Y. Huang et al., 2014; Wang et al., 2015). However, decreases in certain acetylation marks have also been reported in the ventral tegmental area, and epigenetic responses have been shown to vary according to temporal context and brain region (Arora et al., 2013). These findings indicate that histone acetylation dynamically and region-specifically regulates neuronal adaptations associated with addiction.

Genome wide analyses have demonstrated that chronic substance exposure induces widespread alterations in histone acetylation within the nucleus accumbens (NAc) (Renthal et al., 2009). The predominant trend toward increased histone acetylation suggests that this mechanism plays a dominant role in addiction-related gene regulation. However, as illustrated in Figure 3, the observation that acetylation changes do not always directly correspond to gene expression highlights that this process operates within a multilayered regulatory system mediated by histone acetyltransferases (HATs) and histone deacetylases (HDACs) Jaenisch & Bird, 2003). In the NAc, enhanced histone acetylation generally facilitates substance-related behavioral responses, whereas reduced acetylation suppresses these responses; notably, the timing of HDAC inhibition has been shown to reverse these effects under certain conditions (Rogge & Wood, 2013).

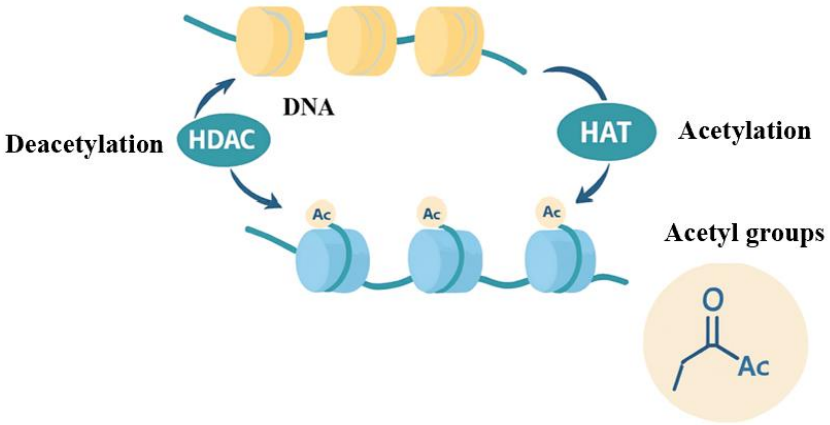


Figure 3. Mechanisms of Histone Acetylation and Deacetylation.

Similar epigenetic patterns have also been observed following opioid exposure. In preclinical models and postmortem tissues obtained from human heroin users, global increases in H3 acetylation have been reported in the mesolimbic dopamine system and the striatum (Egervari et al., 2017). Increases in H3K9, H3K14, H3K18, and particularly H3K27 acetylation have been shown to enhance chromatin accessibility and to support long-term gene expression at enhancer regions (Wang et al., 2015). Additionally, elevations in histone H4 acetylation have been associated with opioid-seeking behavior.

Nevertheless, it is increasingly recognized that global increases in histone acetylation alone are insufficient to explain functional outcomes. Chromatin immunoprecipitation based studies have demonstrated selective increases in acetylation at promoter regions of immediate-early genes and genes involved in neuronal plasticity within reward-related circuits (Renthal et al., 2008). Although acute and chronic exposures may produce similar global acetylation changes, the divergence of locus-specific acetylation patterns depending on the duration of exposure suggests the presence of stage-specific epigenetic signatures in addiction. These findings provide an important framework for identifying biomarkers and therapeutic targets tailored to different phases of addictive disorders.

ii) Histone Methylation

Histone methylation is a major epigenetic regulatory mechanism capable of either activating or repressing gene expression, depending on the specific amino acid residue targeted and the degree of methylation (Figure 4) (Nestler, 2014). Compared with histone acetylation, the biological effects of this modification exhibit a more complex regulatory architecture. Histone

methylation not only modulates gene expression levels but also shapes neuronal subtype identity, synaptic organization, and cell specific transcriptional programs (Seto & Yoshida, 2014). Both acute and chronic substance exposure can induce rapid and persistent changes in histone methylation patterns. In particular, methylation alterations observed in reward-related regions such as the nucleus accumbens (NAc) are thought to play a critical role in the formation of addiction related behavioral adaptations.

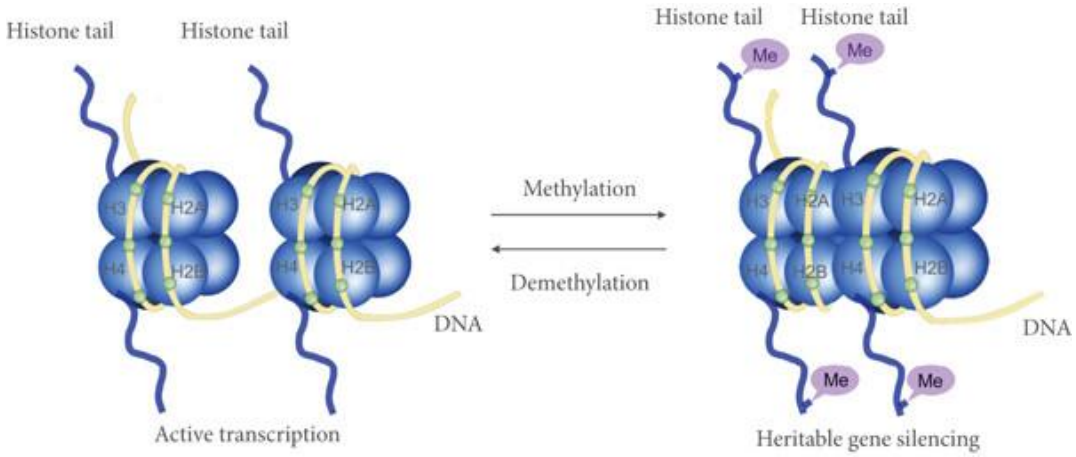


Figure 4. Mechanisms of Histone Methylation (Zhang et al., 2022).

Studies indicate that research on histone methylation in the context of addiction has predominantly focused on methylation marks associated with transcriptional repression. Repeated exposure to cocaine and morphine in the nucleus accumbens (NAc) has been shown to reduce H3K9 dimethylation, whereas methamphetamine exposure increases H3K4 di- and trimethylation (Aguilar-Valles et al., 2014; Sun et al., 2012). The reduction of both euchromatic and heterochromatic H3K9 methylation following chronic cocaine exposure suggests that histone methylation plays a critical role in addiction-related changes in gene expression (Maze et al., 2011). Furthermore, it has been proposed that cocaine induced histone acetylation may facilitate the binding of histone methyltransferases to chromatin, thereby establishing a homeostatic regulatory mechanism (Malvaez et al., 2011).

iii) Other Histone Modifications

In addition to histone acetylation and methylation, other post-translational histone modifications such as phosphorylation, ubiquitination, SUMOylation, glycosylation, and the more recently identified dopaminylation and serotonylation have been examined in a more limited number of studies within the context of addiction epigenetics. Nevertheless,

accumulating evidence indicates that these mechanisms play functional roles in the regulation of chromatin architecture (Kumar et al., 2005). In particular, histone phosphorylation is rapidly induced in reward-related brain regions such as the striatum following cocaine exposure and is regulated via MAPK/MSK1 signaling pathways (Jordi et al., 2013). Moreover, dopamine- and serotonin-mediated histone modifications have been reported to contribute to persistent reprogramming of gene expression after prolonged substance exposure (Farrelly et al., 2019). Collectively, these findings demonstrate that histone modifications involved in addiction related epigenetic regulation are governed by multilayered, interacting mechanisms rather than isolated processes, underscoring the need for a holistic approach to understanding the molecular foundations of addictive phenotypes.

1.2.DNA Methylation

DNA methylation is a fundamental epigenetic mechanism that plays a central role in the control of gene expression and occurs through the formation of 5-methylcytosine (5-mC) by the addition of a methyl group to the C5 position of cytosine within CpG dinucleotides (Figure 5) (Moore et al., 2012). This regulatory process is involved in the maintenance of numerous biological functions, including embryonic development, cellular differentiation, genomic imprinting, X-chromosome inactivation, and the silencing of repetitive DNA sequences. While promoter methylation is generally associated with transcriptional repression, methylation within gene bodies can be observed in conjunction with active gene expression. In addition, derivative modifications such as 5-hydroxymethylcytosine (5-hmC) have been reported to be particularly enriched in the central nervous system and to exert regulatory functions on gene expression (Szulwach et al., 2011; Tahiliani et al., 2009). Emerging evidence further indicates that DNA methylation can be dynamically reprogrammed in response to environmental stimuli. In the context of addiction, DNA methylation has emerged as an important regulatory factor in the behavioral and neurobiological alterations associated with exposure to cocaine, alcohol, and opioids (Leganes-Fonteneau et al., 2018; Liu et al., 2016). During substance exposure, the expression of DNA methyltransferases (DNMTs) and TET enzymes can be altered; acute cocaine administration has been shown to increase Dnmt3A and Dnmt3B levels in the nucleus accumbens, with Dnmt3A modulating behavioral responses related to synaptic plasticity (Loi et al., 2024). Studies on opioid addiction have predominantly focused on 5-mC alterations, reporting that prolonged heroin use is associated with increased methylation at the OPRM1 gene (Knothe et al., 2016). However, the effects of these changes on gene expression and behavioral outcomes have not yet been fully elucidated (Barrow et al., 2017; Knothe et al., 2016). Therefore, locus specific and well controlled preclinical studies are critical for clarifying

how DNA methylation interacts with histone modifications to form an integrated epigenetic network in addiction.

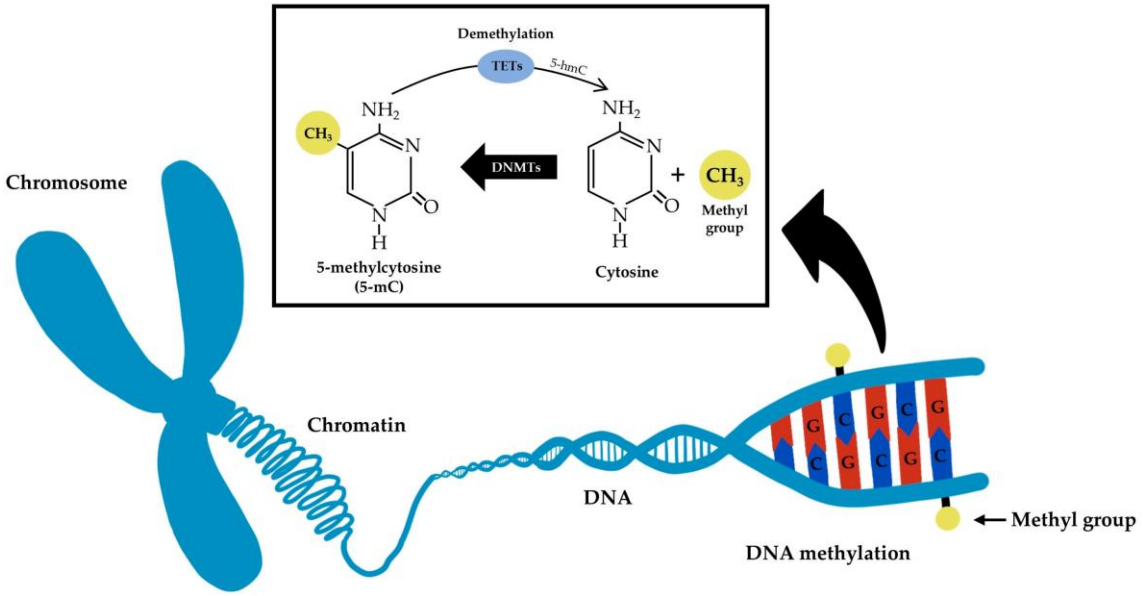


Figure 5. The Fundamental Mechanism of DNA Methylation (Valente et al., 2023).

1.3.Non-coding RNAs

Non-coding RNAs comprise epigenetic regulatory molecules including long non-coding RNAs (lncRNAs), microRNAs (miRNAs), and small interfering RNAs (siRNAs) that do not encode proteins but regulate gene expression at the post transcriptional level (Sartor et al., 2012). These RNAs interact with chromatin modifying proteins and transcription factors to shape neuronal plasticity, learning and memory processes, and addiction-related behavioral adaptations. Among these, microRNAs (miRNAs) occupy a central position in elucidating the molecular basis of addiction mechanisms. These small RNAs, approximately 21–23 nucleotides in length, bind to the 3′ untranslated regions (3′ UTRs) of target mRNAs, thereby suppressing translation and mediating gene silencing (O'Carroll & Schaefer, 2013). Through these functions, miRNAs play a critical role in synaptic remodeling and in the transition to compulsive substance use.

Preclinical studies have demonstrated that miRNA expression is highly sensitive to substance exposure. In the rat nucleus accumbens, overexpression of miR-124 and let-7d has been shown to attenuate cocaine-associated reward behaviors, whereas increased miR-181 expression enhances these responses (Sartor et al., 2012). In addition, elevated miR-212 levels in the striatum are associated with suppression of cocaine's rewarding effects. This phenomenon is

explained by a homeostatic regulatory network mediated through the CREB–miR-212–MeCP2–BDNF axis, indicating that miRNAs serve as critical regulators of addiction tolerance and consumption intensity (Im et al., 2010).

2. METHODOLOGY

This study was prepared based on a systematic literature review aimed at evaluating the multilayered molecular architecture underlying the biology of addiction. The literature search was conducted using major international academic databases, primarily Web of Science (WoS), PubMed, and Scopus. During the search process, studies focusing on addiction genetics, non-coding DNA (ncDNA/ncSTR), epigenetic biomarkers, and non-coding RNA regulatory networks were reviewed. The objective was to assess the regulatory mechanisms involved in the development of the addictive phenotype within an integrative and multilayered framework rather than through isolated biomarkers.

During the search process, keywords such as “addiction genetics,” “ncDNA,” “ncSTR,” “epigenetic biomarkers,” “DNA methylation,” “histone modification,” and “microRNA in addiction” were used, with priority given to peer-reviewed studies from the past 10–15 years that were available in full text. Epigenetic alterations reported in reward-related brain regions were thematically classified within the context of histone acetylation/methylation, DNA methylation (5-mC/5-hmC), and miRNA-mediated post-transcriptional regulatory mechanisms.

The retrieved findings were synthesized within a comprehensive biomarker framework based on the relationships between non-coding DNA variations and epigenetic regulatory networks. In this manner, converging mechanisms underlying the molecular basis of addiction, emerging biomarker candidates, and existing research gaps were identified. This study is exclusively literature-based and does not involve any experimental procedures including human or animal subjects.

3. RESULTS

ncSTRs and STRs are increasingly being evaluated as biomarkers in artificial intelligence–based algorithms for predicting addiction risk, within multilayer genetic–epigenetic data integration frameworks and behavioral phenotype prediction studies. In particular, combined

analyses of ncSTRs together with SNPs and miRNA profiles have been shown to improve the accuracy of addiction susceptibility prediction models.

This study proposes a classification model based on the multilayer integration of genetic and epigenetic systems as a future-oriented research approach in addiction science. Addiction is recognized not only as a condition driven by hereditary variation but also as a complex neurobiological process shaped by environmental stimuli, transcriptomic variability, and epigenetic reprogramming. Within this framework, the model proposes four analytical layers to biologically assess susceptibility to addiction:

i) Genetic Variation Layer

The Genetic Variation Layer constitutes the foundational component aimed at defining the biological susceptibility infrastructure associated with addiction. In this layer, selected SNP and VNTR polymorphisms that are directly related to dopaminergic and serotonergic neurotransmission and are strongly associated with the addiction phenotype such as DRD2 Taq1A, COMT Val158Met, OPRM1 A118G, SLC6A4 5-HTTLPR, and MAOA uVNTR are evaluated. Through this approach, an inherited risk profile is delineated reflecting individual reward circuitry functioning, impulsivity levels, tolerance development, and biological sensitivity to substances. The combined analysis of these variants elucidates how dopamine- and serotonin-mediated pathways are genetically shaped in the emergence of addictive behaviors and provides a predictive molecular framework for individual addiction vulnerability.

ii) Non-coding DNA Layer

The non-coding DNA layer aims to identify variations in short tandem repeats located in non-coding regions (non-coding short tandem repeats, ncSTRs) that are involved in the fine tuned regulation of gene expression and are associated with susceptibility to addiction. In this layer, allele distribution patterns of selected STR loci such as D10S1248, D2S441, SE33, and D1S1656 are analyzed, and the epigenetic regulatory potential of ncSTR variations is evaluated in relation to individual addiction vulnerability. In particular, STR repeats located within or proximal to genic regions are assessed for their potential effects on chromatin density, promoter activity, and transcriptional accessibility, with the aim of elucidating the role of STR based structural variation in gene regulation and the associated neurobiological susceptibility mechanisms.

iii) Epigenetic Regulation Layer

The epigenetic regulation layer aims to elucidate how adaptive changes occurring at the molecular level are reflected in addictive behaviors. This layer encompasses three principal epigenetic components: DNA methylation, histone modifications, and microRNA (miRNA)

mediated post-transcriptional regulation. Proposed epigenetic indicators include the expression profiles of miR-132, miR-212, and miR-124, as well as methylation levels within the OPRM1 and DRD4 gene regions, which play critical roles in addiction pathophysiology. Through the integrative evaluation of these epigenetic parameters, clinical and behavioral outcomes such as individual tolerance development, severity of withdrawal symptoms, and relapse propensity can be predicted at the molecular level, thereby enabling quantitative modeling of addiction as a process shaped not only by genetic factors but also by dynamic epigenetic reprogramming.

iv) Transcriptomic Behavioral Layer

The transcriptomic behavioral layer aims to quantitatively evaluate how molecular alterations defined at the genetic and epigenetic levels are reflected in individual behavioral phenotypes. Within this layer, the functional outputs of biological markers are assessed through psychometric measurements, including impulsivity scores, risk-taking behavior, reward sensitivity tests, and stress-response profiles. This framework enables the systematic modeling of how genetic variations and epigenetic reprogramming influence decision-making processes, reward expectancy, and adaptive or maladaptive responses to stress. By establishing correlations between molecular profiles and psychometric outcomes, this layer facilitates the prediction of addiction vulnerability not only at the biological level but also through quantifiable behavioral indicators.

v) Data Processing and Artificial Intelligence Model

Data processing and artificial intelligence modeling are based on a computational framework designed to holistically model addiction susceptibility through multilayer biological components. The data architecture of the model comprises candidate gene–based SNP panels, ncSTR variation profiles, microRNA (miRNA) expression levels, DNA methylation ratios, and behavioral phenotype scores. Genotyping is performed using qPCR and/or next-generation sequencing (NGS) technologies, and the resulting high-dimensional datasets are subjected to dimensionality reduction through correlation- and entropy-based feature selection methods. During the modeling phase, Random Forest, Support Vector Machine (SVM), and Gradient Boosting algorithms are employed to classify individuals within a multiclass addiction susceptibility structure. The resulting Addiction Susceptibility Score (ASS) categorizes individuals into low-, moderate-, and high-risk groups. Each individual output is further reported together with genetic contribution percentages, epigenetic modulation ratios, and behavioral component weights, thereby providing a comprehensive and interpretable representation of the biological and functional determinants underlying individual risk profiles.

The ROC–AUC results presented in Figure 6 indicate that the use of limited genetic data yields low predictive accuracy in addiction risk estimation. In the literature, multilayer models integrating SNP, ncSTR, miRNA, and DNA methylation parameters have been reported to achieve AUC values approaching 90%. Accordingly, artificial intelligence–based multi-genomic layer analyses may enable the development of substantially more robust predictive models in addiction research.

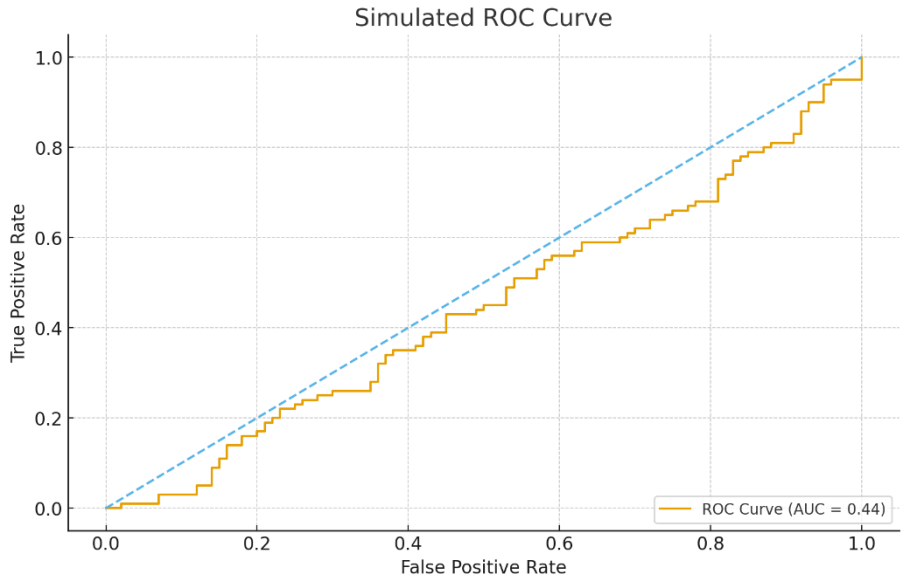


Figure 6. **The Performance of an Addiction Risk Classification Model Simulated Using Limited Genetic Data.**

The ROC–AUC simulation shown in Figure 7 demonstrates that single-layer genetic models are limited in addiction risk classification; however, when epigenetic and non-coding DNA layers such as miRNA and ncSTR data are integrated with SNP information, the AUC increases from approximately 0.70 to values exceeding 0.90. These findings indicate that multilayer artificial intelligence-based models substantially enhance predictive performance in addiction genetics.

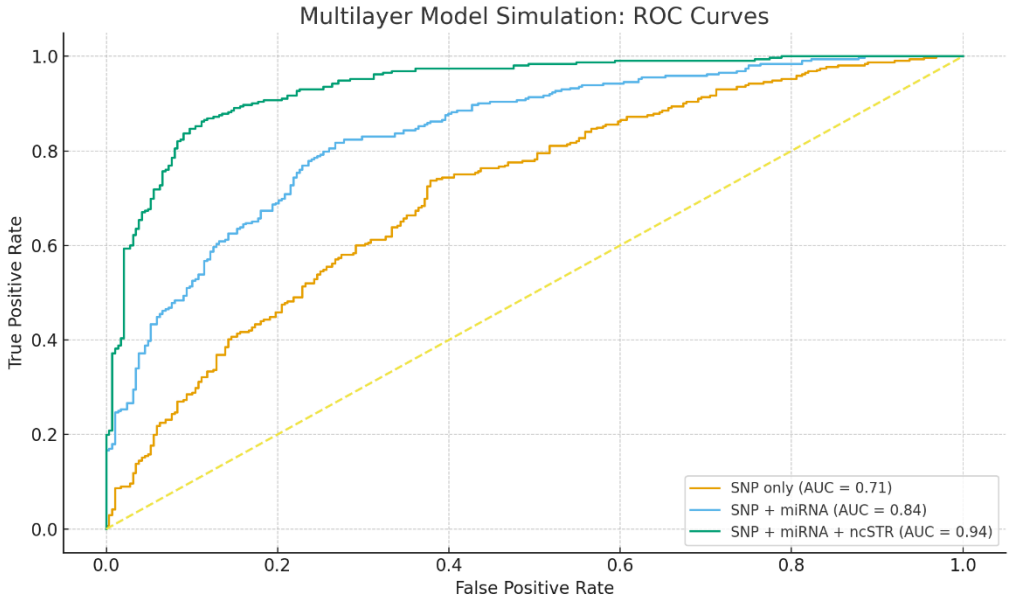


Figure 7. The Performance of an Addiction Risk Classification Model Simulated Using Multilayer Genetic Data.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

This study proposes a multilayer biological framework for elucidating the molecular basis of addiction by integrating genetic susceptibility, epigenetic regulatory signatures, environmental exposures, and behavioral phenotypes dimensions that are traditionally investigated in isolation within a single holistic model. The emphasized composite of "genetic code + epigenetic marks + environmental stimuli + behavioral output" demonstrates that addiction does not arise solely from individual genetic variants, but rather emerges through dynamic, environmentally responsive, and temporally reprogrammable epigenetic networks. This perspective conceptualizes addiction not as a static inherited liability, but as the product of lifelong biological reprogramming processes, highlighting epigenetic biomarkers as critical candidates for both predictive risk stratification and targeted preventive interventions.

Future research priorities should include the establishment of multicenter national and international addiction genomics epigenomics biobanks encompassing diverse geographic regions and clinical subgroups, enabling population scale modeling of addiction risk. In particular, expansion of interaction models between ncSTR variations and miRNA regulatory networks will facilitate higher-resolution characterization of the contribution of the non-coding genome to addiction phenotypes and support the development of next-generation biomarker panels. Moreover, identification of addiction-specific epigenetic signatures (methylation, acetylation, and miRNA profiles) will provide essential biological reference frameworks for early risk screening and personalized preventive strategies. For translational implementation in

clinical and forensic settings, prospective multicenter validation of AI-based risk prediction algorithms is required.

In conclusion, this multilayer biological model extends beyond clinical genetics and addiction treatment, offering broad applicability to forensic psychology, criminological risk assessment, individualized rehabilitation protocols, and predictive forensic genetics. In this respect, the study presents an interdisciplinary and sustainable scientific roadmap that integrates both the biological and societal dimensions of addiction.

REFERENCES

Aguilar-Valles, A., Vaissière, T., Griggs, E. M., Mikaelsson, M. A., Takács, I. F., Young, E. J., Rumbaugh, G., & Miller, C. A. (2014). Methamphetamine-associated memory is regulated by a writer and an eraser of permissive histone methylation. *Biological Psychiatry*, *76*(1), 57–65. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2013.09.014

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. American Psychiatric Association. https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596

Arora, D. S., Nimitvilai, S., Teppen, T. L., McElvain, M. A., Sakharkar, A. J., You, C., Pandey, S. C., & Brodie, M. S. (2013). Hyposensitivity to gamma-aminobutyric acid in the ventral tegmental area during alcohol withdrawal: Reversal by histone deacetylase inhibitors. *Neuropsychopharmacology*, *38*(9), 1674–1684. https://doi.org/10.1038/NPP.2013.65;SUBJMETA

Barrow, T. M., Byun, H. M., Li, X., Smart, C., Wang, Y. X., Zhang, Y., Baccarelli, A. A., & Guo, L. (2017). The effect of morphine upon DNA methylation in ten regions of the rat brain. *Epigenetics*, *12*(12), 1038–1047. https://doi.org/10.1080/15592294.2017.1398296

D'Addario, C., Caputi, F. F., Ekström, T. J., Di Benedetto, M., Maccarrone, M., Romualdi, P., & Candeletti, S. (2013). Ethanol induces epigenetic modulation of prodynorphin and pronociceptin gene expression in the rat amygdala complex. *Journal of Molecular Neuroscience*, *49*(2), 312–319. https://doi.org/10.1007/S12031-012-9829-Y/TABLES/1

Egervari, G., Landry, J., Callens, J., Fullard, J. F., Roussos, P., Keller, E., & Hurd, Y. L. (2017). Striatal H3K27 Acetylation Linked to Glutamatergic Gene Dysregulation in Human Heroin Abusers Holds Promise as Therapeutic Target. *Biological Psychiatry*, *81*(7), 585–594. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2016.09.015

Farrelly, L. A., Thompson, R. E., Zhao, S., Lepack, A. E., Lyu, Y., Bhanu, N. V., Zhang, B., Loh, Y. H. E., Ramakrishnan, A., Vadodaria, K. C., Heard, K. J., Erikson, G., Nakadai, T., Bastle, R. M., Lukasak, B. J., Zebroski, H., Alenina, N., Bader, M., Berton, O., … Maze, I. (2019). Histone serotonylation is a permissive modification that enhances TFIID binding to H3K4me3. *Nature*, *567*(7749), 535–539. https://doi.org/10.1038/S41586-019-1024-7;TECHMETA

Goldman, D., Oroszi, G., & Ducci, F. (2005). The genetics of addictions: Uncovering the genes. *Nature Reviews Genetics*, *6*(7), 521–532. https://doi.org/10.1038/NRG1635;KWRD

Huang, Y. F., Li, J. Z., Rector, T. A., & Mallamaci, C. C. (2013). EFFICIENT SELECTION AND CLASSIFICATION OF INFRARED EXCESS EMISSION STARS BASED ON AKARI AND 2MASS DATA. *The Astronomical Journal*, *145*(5), 126. https://doi.org/10.1088/0004-6256/145/5/126

Huang, Y. Y., Levine, A., Kandel, D. B., Yin, D., Colnaghi, L., Drisaldi, B., & Kandel, E. R. (2014). D1/D5 receptors and histone deacetylation mediate the Gateway Effect of LTP in hippocampal dentate gyrus. *Learning & Memory*, *21*(3), 153–160. https://doi.org/10.1101/LM.032292.113

Im, H. I., Hollander, J. A., Bali, P., & Kenny, P. J. (2010). MeCP2 controls BDNF expression and cocaine intake through homeostatic interactions with microRNA-212. *Nature Neuroscience*, *13*(9), 1120–1127. https://doi.org/10.1038/NN.2615;SUBJMETA

Jaenisch, R., & Bird, A. (2003). Epigenetic regulation of gene expression: How the genome integrates intrinsic and environmental signals. *Nature Genetics*, *33*(3S), 245–254. https://doi.org/10.1038/NG1089;KWRD

Jenuwein, T., & Allis, C. D. (2001). Translating the Histone Code. *Science*, *293*(5532), 1074–1080. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1063127

Jordi, E., Heiman, M., Marion-Poll, L., Guermonprez, P., Cheng, S. K., Nairn, A. C., Greengard, P., & Girault, J. A. (2013). Differential effects of cocaine on histone posttranslational modifications in identified populations of striatal neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(23), 9511–9516. https://doi.org/10.1073/PNAS.1307116110

Kalda, A., Heidmets, L. T., Shen, H. Y., Zharkovsky, A., & Chen, J. F. (2007). Histone deacetylase inhibitors modulates the induction and expression of amphetamine-induced behavioral sensitization partially through an associated learning of the environment in

mice. *Behavioural Brain Research*, *181*(1), 76–84. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2007.03.027

Kalda, A., & Zharkovsky, A. (2015). Epigenetic Mechanisms of Psychostimulant-Induced Addiction. International Review of Neurobiology, 120, 85–105. https://doi.org/10.1016/BS.IRN.2015.02.010

Knothe, C., Doehring, A., Ultsch, A., & Lötsch, J. (2016). Methadone Induces Hypermethylation of Human DNA. *Epigenomics*, *8*(2), 167–179. https://doi.org/10.2217/EPI.15.78

Koob, G., & Kreek, M. J. (2007). Stress, Dysregulation of Drug Reward Pathways, and the Transition to Drug Dependence. *American Journal of Psychiatry*, *164*(8), 1149–1159. https://doi.org/10.1176/APPI.AJP.2007.05030503

Kouzarides, T. (2007). Chromatin Modifications and Their Function. *Cell*, *128*(4), 693–705. https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.02.005

Kumar, A., Choi, K. H., Renthal, W., Tsankova, N. M., Theobald, D. E. H., Truong, H. T., Russo, S. J., LaPlant, Q., Sasaki, T. S., Whistler, K. N., Neve, R. L., Self, D. W., & Nestler, E. J. (2005). Chromatin remodeling is a key mechanism underlying cocaine-induced plasticity in striatum. *Neuron*, *48*(2), 303–314. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.09.023

Leganes-Fonteneau, M., Scott, R., & Duka, T. (2018). Attentional responses to stimuli associated with a reward can occur in the absence of knowledge of their predictive values. *Behavioural Brain Research*, *341*, 26–36. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.12.015

Li, B., Carey, M., & Workman, J. L. (2007). The Role of Chromatin during Transcription. *Cell*, *128*(4), 707–719. https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.01.015

Liu, X. S., Wu, H., Ji, X., Stelzer, Y., Wu, X., Czauderna, S., Shu, J., Dadon, D., Young, R. A., & Jaenisch, R. (2016). Editing DNA Methylation in the Mammalian Genome. *Cell*, *167*(1), 233-247.e17. https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.056

Loi, E., Florencia, A., Benedetti, V., Davletgildeeva, A. T., & Kuznetsov, N. A. (2024). The Role of DNMT Methyltransferases and TET Dioxygenases in the Maintenance of the DNA Methylation Level. *Biomolecules 2024, Vol. 14, Page 1117*, *14*(9), 1117. https://doi.org/10.3390/BIOM14091117

Malvaez, M., Mhillaj, E., Matheos, D. P., Palmery, M., & Wood, M. A. (2011). CBP in the nucleus accumbens regulates cocaine-induced histone acetylation and is critical for

cocaine-associated behaviors. *Journal of Neuroscience*, *31*(47), 16941–16948. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2747-11.2011

Maze, I., Feng, J., Wilkinson, M. B., Sun, H. S., Shen, L., & Nestler, E. J. (2011). Cocaine dynamically regulates heterochromatin and repetitive element unsilencing in nucleus accumbens. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(7), 3035–3040. https://doi.org/10.1073/pnas.1015483108

Moore, L. D., Le, T., & Fan, G. (2012). DNA Methylation and Its Basic Function. *Neuropsychopharmacology 2013 38:1*, *38*(1), 23–38. https://doi.org/10.1038/npp.2012.112

Nestler, E. J. (2014). Epigenetic mechanisms of drug addiction. *Neuropharmacology*, *76*(PART B), 259–268. https://doi.org/10.1016/J.NEUROPHARM.2013.04.004

O'Carroll, D., & Schaefer, A. (2013). General principals of miRNA biogenesis and regulation in the brain. *Neuropsychopharmacology*, *38*(1), 39–54. https://doi.org/10.1038/NPP.2012.87;SUBJMETA

Peña, C. J., Bagot, R. C., Labonté, B., & Nestler, E. J. (2014). Epigenetic Signaling in Psychiatric Disorders. *Journal of Molecular Biology*, *426*(20), 3389–3412. https://doi.org/10.1016/J.JMB.2014.03.016

Renthal, W., Carle, T. L., Maze, I., Covington, H. E., Truong, H. T., Alibhai, I., Kumar, A., Montgomery, R. L., Olson, E. N., & Nestler, E. J. (2008). ΔFosB Mediates Epigenetic Desensitization of the c-fos Gene After Chronic Amphetamine Exposure. *Journal of Neuroscience*, *28*(29), 7344–7349. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1043-08.2008

Renthal, W., Kumar, A., Xiao, G., Wilkinson, M., Covington, H. E., Maze, I., Sikder, D., Robison, A. J., LaPlant, Q., Dietz, D. M., Russo, S. J., Vialou, V., Chakravarty, S., Kodadek, T. J., Stack, A., Kabbaj, M., & Nestler, E. J. (2009). Genome-wide Analysis of Chromatin Regulation by Cocaine Reveals a Role for Sirtuins. *Neuron*, *62*(3), 335–348. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.03.026

Robison, A. J., & Nestler, E. J. (2011). Transcriptional and epigenetic mechanisms of addiction. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*(11), 623–637. https://doi.org/10.1038/NRN3111;SUBJMETA

Rogge, G. A., & Wood, M. A. (2013). The role of histone acetylation in cocaine-induced neural plasticity and behavior. *Neuropsychopharmacology*, *38*(1), 94–110. https://doi.org/10.1038/npp.2012.154

Sartor, G. C., St. Laurent, G., & Wahlestedt, C. (2012). The emerging role of non-coding RNAs in drug addiction. *Frontiers in Genetics*, *3*(JUN), 24545. https://doi.org/10.3389/FGENE.2012.00106/BIBTEX

Seto, E., & Yoshida, M. (2014). Erasers of Histone Acetylation: The Histone Deacetylase Enzymes. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, *6*(4), a018713. https://doi.org/10.1101/CSHPERSPECT.A018713

Sun, H. S., Maze, I., Dietz, D. M., Scobie, K. N., Kennedy, P. J., Damez-Werno, D., Neve, R. L., Zachariou, V., Shen, L., & Nestler, E. J. (2012). Morphine epigenomically regulates behavior through alterations in histone H3 lysine 9 dimethylation in the nucleus accumbens. *Journal of Neuroscience*, *32*(48), 17454–17464. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1357-12.2012

Szulwach, K. E., Li, X., Li, Y., Song, C. X., Wu, H., Dai, Q., Irier, H., Upadhyay, A. K., Gearing, M., Levey, A. I., Vasanthakumar, A., Godley, L. A., Chang, Q., Cheng, X., He, C., & Jin, P. (2011). 5-hmC-mediated epigenetic dynamics during postnatal neurodevelopment and aging. *Nature Neuroscience*, *14*(12), 1607–1616. https://doi.org/10.1038/NN.2959;SUBJMETA

Tahiliani, M., Koh, K. P., Shen, Y., Pastor, W. A., Bandukwala, H., Brudno, Y., Agarwal, S., Iyer, L. M., Liu, D. R., Aravind, L., & Rao, A. (2009). Conversion of 5-Methylcytosine to 5-Hydroxymethylcytosine in Mammalian DNA by MLL Partner TET1. *Science*, *324*(5929), 930–935. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1170116

Valente, A., Vieira, L., Silva, M. J., & Ventura, C. (2023). The Effect of Nanomaterials on DNA Methylation: A Review. *Nanomaterials 2023, Vol. 13, Page 1880*, *13*(12), 1880. https://doi.org/10.3390/NANO13121880

Vidaki, A., Daniel, B., & Court, D. S. (2013). Forensic DNA methylation profiling—Potential opportunities and challenges. *Forensic Science International: Genetics*, *7*(5), 499–507. https://doi.org/10.1016/J.FSIGEN.2013.05.004

Walker, D. M., & Nestler, E. J. (2018). Neuroepigenetics and addiction. *Handbook of Clinical Neurology*, *148*, 747–765. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64076-5.00048-X

Wang, Y., Lai, J., Cui, H., Zhu, Y., Zhao, B., Wang, W., & Wei, S. (2015). Inhibition of Histone Deacetylase in the Basolateral Amygdala Facilitates Morphine Context-Associated Memory Formation in Rats. *Journal of Molecular Neuroscience*, *55*(1), 269–278. https://doi.org/10.1007/S12031-014-0317-4/FIGURES/4

Wong, C. C. Y., Mill, J., & Fernandes, C. (2011). Drugs and addiction: an introduction to epigenetics. *Addiction*, *106*(3), 480–489. https://doi.org/10.1111/J.1360-0443.2010.03321.X

Zhang, H., Fu, H., Fang, H., Deng, Q., Huang, H., Hou, D., Wang, M., Yao, Q., Si, Q., Chen, R., Li, L., Weng, J., Guo, T., & Wang, M. (2022). Epigenetic Regulation of Methylation in Determining the Fate of Dental Mesenchymal Stem Cells. *Stem Cells International*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/5015856

FİZYOTERAPİDE KLİNİK KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN KULLANIMI

Müşerref Ebru ŞEN
Gümüşhane Üniversitesi
m.ebrusen@gmail.com - 0000-0002-0964-4764

Filiz ÖZDEMİR
İnönü Üniversitesi
fciledag@gmail.com - 0000-0001-9421-0233

ÖZET

Karar verme, bireyin yaşamını yönlendiren ve insan davranışlarının temel bileşenlerinden biri olan bir bilişsel süreçtir. Günlük yaşamda alınan kararlar, basit ve düşük riskli olabileceği gibi karmaşık ve yüksek risk düzeyine de sahip olabilmektedir. Kararın karmaşıklığı arttıkça daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmakta ve karar süreci zorlaşmaktadır. Karar verme süreci, bireyin karşılaştığı bir problem durumunda alternatifleri değerlendirerek amaçlarına en uygun seçeneği belirlemesini içermektedir. Sağlık alanında karar verme süreci, doğrudan insan hayatını etkilemesi nedeniyle daha kompleks ve yüksek risklidir. Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS), klinik karar verme süreçlerini kanıta dayalı olarak destekleyen bilgi teknolojileridir. Fizyoterapi alanında bu sistemler; bireyin rollerinin, günlük yaşam aktivitelerinin ve fonksiyonel kısıtlılıklarının birlikte ele alınmasını sağlayarak bütüncül bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır. Ayrıca klinik ölçümlerin yorumlanması, fonksiyonel durumun analiz edilmesi ve bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Sonuç olarak fizyoterapide KKDS, klinik karar verme süreçlerinin yapılandırılmış biçimde yürütülmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karar verme, Klinik karar destek sistemleri, Fizyoterapi, Kanıta dayalı uygulama

USE OF CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS IN PHYSIOTHERAPY

Müşerref Ebru ŞEN

Gumushane University

m.ebrusen@gmail.com - 0000-0002-0964-4764

Filiz ÖZDEMİR

Inonu University

fciledag@gmail.com - 0000-0001-9421-0233

ABSTRACT

Decision-making is a fundamental cognitive process that guides individuals' lives and constitutes a core component of human behavior. Decisions in daily life may range from simple, low-risk choices to complex, high-risk decisions. As the complexity of a decision increases, the demand for information grows, and the decision-making process becomes more challenging. The decision-making process involves evaluating alternatives in a problem situation and identifying the option that best aligns with the individual's goals. In the healthcare context, the decision-making process is inherently more complex and high-risk, as it directly affects human life. Clinical Decision Support Systems (CDSS) are health information technologies that support clinical decision-making processes in an evidence-based manner. In the field of physiotherapy, these systems provide a holistic assessment approach by enabling the integrated consideration of an individual's roles, activities of daily living, and functional limitations. In addition, they facilitate the interpretation of clinical measurements, the analysis of functional status, and the development of individualized treatment plans. In conclusion, CDSS in physiotherapy contribute to the structured conduct of clinical decision-making processes.

Keywords: Decision-making, Clinical decision support systems, Physiotherapy, Evidence-based practice

1. GİRİŞ

İnsan davranışlarının temel bileşenlerinden biri olan karar verme, yaşamı yönlendiren önemli bir süreçtir (Tekin, 1996). Hayatın doğal akışı içerisinde farkında olarak ya da olmadan çok sayıda karar almaktayız. Alınan her karar aynı düzeyde önem taşımamaktadır. Bazı kararlar basit ve düşük riskli olabilirken, bazıları karmaşık ve yüksek risk düzeyine sahip olabilmektedir. Kararın karmaşıklığı ve önem düzeyi arttıkça karar vermek zorlaşmaktadır. Yüksek risk içeren kararlar, daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmasını ve alternatiflerin ayrıntılı biçimde analiz edilmesini gerekli kılmaktadır (Tekin & Ehtiyar, 2010).

Karar verme süreci, karar vericinin bir durum ya da sorunla karşılaştığında alternatifler arasından amaçları doğrultusunda analitik bir değerlendirme yaparak seçim yapması olarak tanımlanmaktadır (Müller et al., 2022). Bu süreçte her bir seçeneğin avantajları ve dezavantajları sistematik biçimde değerlendirilerek en yüksek faydayı sağlayan kararın verilmesi hedeflenmektedir (Aydın, 2011). Etkin bir karar verme süreci; rasyonel değerlendirme, bilgiye dayalı analiz ve amaca uygun seçimler yapılmasını gerektirmektedir (Aydın, 2011; Andreis, 2020). Karar verme sürecinin geniş kapsamlı olması, karar destek sistemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır (Tekin & Ehtiyar, 2010). Bu ihtiyaç özellikle sağlık alanında daha belirgin hale gelmektedir.

Sağlık alanında karar verme süreci, doğrudan insan hayatını etkilemesi nedeniyle birçok alana kıyasla daha karmaşık, çok boyutlu ve yüksek risklidir. Klinik kararlar, çok sayıda değişkenin eş zamanlı değerlendirilmesini gerektirmektedir (Sim et al., 2001; Angelis & Kanavos, 2017). Klinik karar verme süreçlerinin daha sistematik, tutarlı ve kanıta dayalı biçimde gerçekleştirilmesi amacıyla Klinik Karar Destek Sistemleri (KKDS) geliştirilmiştir (Sim et al., 2001). Değerlendirme ve tedavi süreçlerinin çok boyutlu yapısı göz önünde bulundurulduğunda, KKDS kullanımı ve etkinliğinin incelenmesi önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır (Roberge, 2022).

2. KLİNİK KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

Klinik Karar Destek Sistemleri, klinik karar verme süreçlerini desteklemek amacıyla hasta verilerini, bilimsel kanıtları ve klinik rehberleri bütünleştirerek karar sürecine yönelik öneriler sunan bilgisayar tabanlı bilgi sistemleridir (Sim et al., 2001). KKDS, klinik uygulamada karşılaşılan karar süreçlerini yapılandırılmış hale getirmeyi amaçlayan sistemler olup, sağlık hizmetlerinin niteliğini artırmayı hedeflemektedir (Sutton et al., 2020).

Klinik karar destek sistemlerinin temel işlevi, büyük ve karmaşık veri kümelerini analiz ederek, karar vericinin bilişsel yükünü azaltmak ve hata olasılığını en aza indirmektir. Böylece klinik karar verme süreci yapılandırılmış ve güvenilir biçimde yürütülmektedir (Greenberg & Ridgely, 2011; Sutton et al., 2020; Chen et al., 2023).

Klinik karar destek sistemleri genel olarak bilgi temelli (knowledge-based) ve bilgi temelli olmayan (non–knowledge-based) sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Bilgi temelli sistemlerde, "eğer–ise" (IF–THEN) kurallarına dayalı bir yapı oluşturulmaktadır. Sistem, bu kuralları değerlendirmek üzere gerekli verileri toplamakta ve buna bağlı çıktı üretmektedir (Berner, 2007; Sutton et al., 2020). Kurallar, literatüre dayalı kanıtlar, klinik uygulama deneyimleri veya hasta odaklı kanıtlar kullanılarak geliştirilmektedir (Sim et al., 2001). Bilgi temelli olmayan KKDS ise, yapay zeka, makine öğrenmesi ve istatistiksel örüntü tanıma yöntemlerini kullanarak karar verme sürecini desteklemektedir (Berner, 2007; Deo, 2015; Sutton et al., 2020).

Günümüzde KKDS, elektronik sağlık kayıt sistemleriyle entegre biçimde çalışmaktadır (Moja et al., 2014; Alexiuk et al., 2024). Hasta hikayesi, klinik bulgular, laboratuvar sonuçları ve görüntüleme verileri gibi çok sayıda değişken eş zamanlı değerlendirilerek karar verme sürecinde bilginin kapsamlı ve hızlı biçimde kullanılmasına olanak sağlanmaktadır (Alexiuk et al., 2023; Fahim et al., 2025). KKDS'nin sağlık alanındaki genel kullanım alanları ve işlevleri göz önünde bulundurulduğunda, fizyoterapi alanındaki rolünün incelenmesi son derece önemlidir (Javaid et al., 2024).

3. FİZYOTERAPİDE KLİNİK KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN KULLANIMI

Fizyoterapi; değerlendirme, tedavi planlama, uygun müdahale seçimi ve tedavi sürecinin izlenmesi gibi çok aşamalı ve klinik karar verme gerektiren süreçleri içeren bir sağlık disiplinidir. Fizyoterapistler, ortopedik, nörolojik, kardiyopulmoner, pediatrik ve geriatrik rehabilitasyon gibi geniş bir yelpazede klinik kararlar almak durumundadır (APTA, 2021; World Physiotherapy, 2021). Fizyoterapistin deneyimi ve klinik bilgisi temel olmakla birlikte, artan hasta yükü, veri çeşitliliği ve kanıta dayalı uygulama gereklilikleri, klinik karar verme sürecinin sistematik olarak desteklenmesini gerekli kılmaktadır (Sutton et al., 2020; Roos, 2025).

Klinik Karar Destek Sistemleri, fizyoterapi alanında farklı klinik uzmanlık alanlarında ve tedavi süreçlerinin çeşitli aşamalarında kullanılmaktadır. Ortopedik fizyoterapide, kas-iskelet sistemi değerlendirme sonuçlarının analiz edilmesi ve ilerlemenin objektif ölçütlerle izlenmesi

amacıyla kullanılabilmektedir (Gross et al., 2016). Nörolojik fizyoterapide, değerlendirme ve tedavi sürecini destekleyici bir rol üstlenmektedir. Nörolojik sistemlere ilişkin verilerin analiz edilmesi, uygun rehabilitasyon stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Hemanth, 2021; Shalabi et al., 2024). Kardiyopulmoner alanında vital parametrelerin izlenmesinde ve hasta takibinde kullanılmaktadır (Thackray et al., 2017; Ventura et al., 2022). Pediatrik fizyoterapide, yürüyüş analizi gibi nesnel değerlendirme yöntemlerinden elde edilen veriler kullanılarak klinik kararların desteklenmesini sağlamaktadır (Chia et al., 2020). Geriatrik fizyoterapide ise, yaşa özgü fizyolojik özellikler, fonksiyonel düzey ve eşlik eden durumlar dikkate alınarak elektroterapi uygulamalarının planlanmasında kullanılmaktadır (Franco, 2024).

Fizyoterapide klinik değerlendirme; fonksiyonel testler, ölçekler, hareket analizi ve hasta bildirimi temelli veriler gibi farklı veri türlerini içermektedir (Yeldan, 2024; Yazdipour et al., 2025). KKDS, verileri bütüncül biçimde bir araya getirerek klinik yorumlamayı kolaylaştırmakta ve karar sürecinde yapılandırılmış bir çerçeve sunmaktadır (Moriat & Rasmussen, 2020).

Klinik karar destek sistemleri, klinik veriler doğrultusunda tedavi planının yapılmasını sağlamaktadır (Kovalev et al., 2025). Tedavi planı; bireyin yaşı, fonksiyonel kapasitesi, eşlik eden hastalıkları, aktivite düzeyi ve çevresel koşullar gibi çok sayıda değişkenin etkileşimi sonucunda şekillenmektedir (Herbert et al., 2022). KKDS, mevcut klinik rehberleri ve hasta özelliklerini bir araya getirerek tedavi seçenekleri sunmakta ve karar verme sürecinin daha şeffaf, izlenebilir ve gerekçelendirilebilir olmasına olanak tanımaktadır (Osheroff et al., 2012; Bozyel et al., 2024).

Fizyoterapi sürecinin dinamik yapısı nedeniyle, müdahale seçimi ve tedavi planının düzenli olarak gözden geçirilmesi gerekmektedir (APTA, 2021; Saraçoğlu et al., 2025). KKDS, klinik kararların tedavi süreci boyunca izlenmesine ve klinik yanıt doğrultusunda müdahalelerin yeniden düzenlenmesine olanak tanımaktadır. Bu sistematik yaklaşım, fizyoterapi uygulamalarında esnek ve uyarlanabilir bir klinik karar verme sürecinin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (Sutton et al., 2020; Granviken et al., 2024).

Tedavi sonuçlarının izlenmesi ve değerlendirilmesinde KKDS kullanılmaktadır (Granviken et al., 2024). Fonksiyonel kazanımların izlenmesi, tedavinin etkinliğinin belirlenmesi ve klinik kararların şekillendirilmesinde rol oynamaktadır (Yazdipour et al., 2025). KKDS, boylamsal veri takibi yoluyla klinik kararların zaman içinde değerlendirilmesine olanak sağlamakta ve

klinik kararların veriye dayalı biçimde güncellenmesini desteklemektedir (Sutton et al., 2020; Loftus et al., 2024; Jain et al., 2025).

4. SONUÇLAR

Fizyoterapide KKDS; değerlendirme, tedavi planlama, müdahale seçimi, ilerlemenin izlenmesi ve sonuçların objektif olarak raporlanması gibi alanlarda kullanılabilmektedir. Klinik verilerin bütüncül biçimde analiz edilmesine olanak tanıyan bu sistemler, klinik kararların hasta merkezli ve izlenebilir bir çerçevede yürütülmesini desteklemektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine katkı sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK), 2224-B Yurt İçi Bilimsel Etkinliklere Katılımı Destekleme Programı kapsamında sağladıkları destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Alexiuk, M., Elgubtan, H., & Tangri, N. (2024). Clinical decision support tools in the electronic medical record. Kidney International Reports, 9(1), 29-38.
2. American Physical Therapy Association. (2021). APTA guide to physical therapist practice. Alexandria, VA: American Physical Therapy Association.
3. Andreis, F. (2020). A theoretical approach to the effective decision-making process. Open Journal of Applied Sciences, 10(6), 287-304.
4. Angelis, A., & Kanavos, P. (2017). Multiple criteria decision analysis (MCDA) for evaluating new medicines in health technology assessment and beyond: the advance value framework. Social Science & Medicine, 188, 137-156.
5. Aydın, N. (2011). The Use of Clinical Decision Support Systems in Nursing. Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi, 8 (3): 59-63.
6. Berner, E. S. (2007). Clinical decision support systems (Vol. 233). New York: Springer Science+ Business Media, LLC.
7. Bozyel, S., Şimşek, E., Koçyiğit Burunkaya, D., Güler, A., Korkmaz, Y., Şeker, M., Ertürk, M., & Keser, N. (2024). Artificial Intelligence-Based Clinical Decision Support Systems in Cardiovascular Diseases. Anatolian Journal of Cardiology, *28*(2), 74–86. Advance online publication.
8. Chen, Z., Liang, N., Zhang, H., Li, H., Yang, Y., Zong, X., ... & Shi, N. (2023). Harnessing the power of clinical decision support systems: challenges and opportunities. Open Heart, 10(2), e002432.

9. Chia, K., Fischer, I., Thomason, P., Graham, H. K., & Sangeux, M. (2020). A decision support system to facilitate identification of musculoskeletal impairments and propose recommendations using gait analysis in children with cerebral palsy. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 8, 529415.
10. Deo, R. C. (2015). Machine learning in medicine. Circulation, 132(20), 1920-1930.
11. Fahim, Y. A., Hasani, I. W., Kabba, S., & Ragab, W. M. (2025). Artificial intelligence in healthcare and medicine: clinical applications, therapeutic advances, and future perspectives. European journal of medical research, 30(1), 848.
12. Franco, T. S. (2024). Clinical decision support system to electrostimulation treatments for muscle rehabilitation in the elderly (Doctoral dissertation, Universidade do Minho (Portugal)).
13. Granviken, F., Vasseljen, O., Bach, K., Jaiswal, A., & Meisingset, I. (2024). Decision support for managing common musculoskeletal pain disorders: development of a case-based reasoning application. JMIR Formative Research, 8(1), e44805.
14. Greenberg, M., & Ridgely, M. S. (2011). Clinical decision support and malpractice risk. Jama, 306(1), 90-91.
15. Gross, D. P., Armijo-Olivo, S., Shaw, W. S., Williams-Whitt, K., Shaw, N. T., Hartvigsen, J., Qin, Z., Ha, C., Woodhouse, L. J., & Steenstra, I. A. (2016). Clinical Decision Support Tools for Selecting Interventions for Patients with Disabling Musculoskeletal Disorders: A Scoping Review. Journal of occupational rehabilitation, 26(3), 286–318.
16. Hemanth, D. J. (2021). Handbook of decision support systems for neurological disorders. Academic Press.
17. Herbert, R., Jamtvedt, G., Hagen, K. B., & Elkins, M. R. (2022). Practical Evidence-Based Physiotherapy-E-Book: Practical Evidence-Based Physiotherapy-E-Book. Elsevier Health Sciences.
18. Jain, G., Bodade, A., & Pati, S. (2025). Impact of clinical decision support systems (CDSS) on clinical outcomes and healthcare delivery in low- and middle-income countries: protocol for a systematic review and meta-analysis. BMJ open, 15(12), e097054.
19. Javaid, M., Haleem, A., & Singh, R. P. (2024). Health informatics to enhance the healthcare industry's culture: An extensive analysis of its features, contributions, applications and limitations. Informatics and Health, 1(2), 123-148.

20. Kovalev, R., Gribova, V., & Okun, D. (2025). A hybrid approach to developing clinical decision support systems for treatment planning and monitoring. Systems, 13(10), 920.
21. Loftus, T. J., Balch, J. A., Marquard, J. L., Ray, J. M., Alper, B. S., Ojha, N., ... & Tignanelli, C. J. (2024). Longitudinal clinical decision support for assessing decisions over time: State-of-the-art and future directions. Digital Health, 10, 20552076241249925.
22. Moja, L., Kwag, K. H., Lytras, T., Bertizzolo, L., Brandt, L., Pecoraro, V., ... & Bonovas, S. (2014). Effectiveness of computerized decision support systems linked to electronic health records: a systematic review and meta-analysis. American journal of public health, 104(12), e12-e22.
23. Moriat, C. Ø., & Rasmussen, T. B. (2020). Clinical decision support for physiotherapy-based rehabilitation (Master's thesis). Aarhus University.
24. Müller, S. M., Liebherr, M., Wegmann, E., & Brand, M. (2022). Decision making–A neuropsychological perspective. J. H. Byrne & R. Menzel (Eds.), Encyclopedia of Behavioral Neuroscience (396–403). Elsevier.
25. Osheroff, J. A., Teich, J., Levick, D., Saldana, L., Velasco, F., Sittig, D., ... & Jenders, R. (2012). Improving outcomes with clinical decision support: an implementer's guide. Himss Publishing.
26. Roberge-Dao, J. (2022). Development of a Brief Multidimensional Index of a Rehabilitation Clinician's Propensity to Integrate Research Evidence into Clinical Decision-Making. McGill University (Canada).
27. Roos R. (2025). Current state of evidence-based practice in clinical physiotherapy. The South African journal of physiotherapy, 81(1), 2139.
28. Saraçoğlu, İ., & Aksoy, C. C. (Ed.). (2025). Fizyoterapi ve rehabilitasyonda klinik karar verme: Kanıta dayalı pratik yaklaşım. Hipokrat Kitabevi.
29. Shalabi, K. M., Sayed, H. M., Pakkir Mohamed, S. H., Basuodan, R. M., Alahmari, W. S., & Shaik, S. A. (2024). A scoping review of the benefits and challenges of mHealth for clinical decision-making in neuro-physiotherapy. European Review for Medical & Pharmacological Sciences, 28(10).
30. Sim, I., Gorman, P., Greenes, R. A., Haynes, R. B., Kaplan, B., Lehmann, H., & Tang, P. C. (2001). Clinical decision support systems for the practice of evidence-based medicine. Journal of the American Medical Informatics Association, 8(6), 527-534.
31. Sutton, R. T., Pincock, D., Baumgart, D. C., Sadowski, D. C., Fedorak, R. N., & Kroeker, K. I. (2020). An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success. NPJ digital medicine, 3(1), 17.

32. Tekin, M., Üretim Yönetimi, Arı Ofset, Konya, p. (1) 16, 1996.
33. Tekin, Ö. A. ve Ehtiyar, R. (2010). Yönetimde karar verme: Batı Antalya bölgesindeki beş yıldızlı otellerde çalışan departman yöneticilerinin karar verme stilleri üzerine bir çalışma. Journal of Yaşar University, 20(5), 3394-3414
34. Thackray, D., & Roberts, L. (2017). Exploring the clinical decision-making used by experienced cardiorespiratory physiotherapists: A mixed method qualitative design of simulation, video recording and think aloud techniques. Nurse Education Today, 49, 96-105.
35. Ventura, F., Sousa, P., Dixe, M. A., Ferreira, P., Martinho, R., Dias, S. S., ... & Gonçalves, L. M. (2022). A clinical decision support system for remote monitoring of cardiovascular disease patients: a clinical study protocol. Frontiers in Public Health, 10, 859890.
36. World Physiotherapy. Physiotherapist education framework. London, UK: World Physiotherapy; 2021.
37. Yazdipour, A. B., Ayyoubzadeh, S. M., Nazary-Moghadam, S., Shahmoradi, L., & Kimiafar, K. (2025). Development and evaluation of the musculoskeletal physical therapy registry in Iran: a step toward enhanced evidence-based practice. BMC Musculoskeletal Disorders, 26(1), 326.
38. Yeldan, İ. (Ed.). (2024). Fizyoterapi ve Rehabilitasyonda Ölçme ve Değerlendirme Yöntemleri İstanbul: İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa Üniversite Yayınevi.

[1] Bu çalışmada üretken yapay zeka araçları dil kontrolünde kullanılmış olup, bilimsel içeriğin doğruluğu ve sorumluluğu yazarlara aittir.

GERİATRİK REHABİLİTASYONDA TEKNOLOJİ DESTEKLİ NÖROMOTOR EĞİTİM UYGULAMALARININ FONKSİYONELLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Müşerref Ebru ŞEN
Gümüşhane Üniversitesi
m.ebrusen@gmail.com - 0000-0002-0964-4764

Filiz ÖZDEMİR
İnönü Üniversitesi
fciledag@gmail.com - 0000-0001-9421-0233

ÖZET

Yaşlanma süreciyle birlikte fiziksel fonksiyonlarda meydana gelen gerilemeler, fonksiyonel bağımsızlıkta azalmaya neden olmaktadır. Bu nedenle, geriatrik bireylerde fonksiyonel kapasitenin korunması ve bağımsızlığın sürdürülmesine yönelik çok yönlü ve etkili rehabilitasyon yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda teknolojinin sağlık alanında kullanımıyla sanal gerçeklik, robotik sistemler, giyilebilir cihazlar ve mobil uygulamalar gibi teknoloji destekli nöromotor eğitim programları, geriatrik rehabilitasyonda önemli bir yer edinmiştir. Bu çalışmada, geriatrik rehabilitasyonda teknoloji destekli nöromotor eğitim uygulamalarının fonksiyonellik üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Literatürdeki bulgular, bu uygulamaların fonksiyonellik üzerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını ortaya koymaktadır. Teknoloji destekli uygulamalar, rehabilitasyon sürecine aktif katılımı sağlayarak motivasyon düzeyini artırmakta ve kişiselleştirilmiş eğitim imkanı sunmaktadır. Sonuç olarak, teknoloji destekli nöromotor eğitim uygulamaları, geriatrik rehabilitasyonda fonksiyonelliği artırmada etkili ve yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Geriatrik rehabilitasyon, nöromotor eğitim, teknoloji destekli rehabilitasyon, fonksiyonellik

THE EFFECTS OF TECHNOLOGY-ASSISTED NEUROMOTOR TRAINING APPLICATIONS ON FUNCTIONALITY IN GERIATRIC REHABILITATION

Müşerref Ebru ŞEN

Gumushane University

m.ebrusen@gmail.com - 0000-0002-0964-4764

Filiz ÖZDEMİR

Inonu University

fciledag@gmail.com - 0000-0001-9421-0233

ABSTRACT

With advancing age, declines in physical functions lead to a reduction in functional independence. Therefore, there is a need for effective and multidimensional rehabilitation approaches aimed at preserving functional capacity and maintaining independence in geriatric individuals. In recent years, with the integration of technology into healthcare, technology-assisted neuromotor training programs such as virtual reality, robotic systems, wearable devices, and mobile applications have gained a prominent role in geriatric rehabilitation. This study examines the effects of technology-assisted neuromotor training interventions on functional outcomes among the geriatric population. Evidence from the literature indicates that these interventions yield significant improvements in functionality. Moreover, technology-assisted approaches promote active participation in the rehabilitation process, enhance motivation, and provide opportunities for individualized training. In conclusion, technology-assisted neuromotor training applications represent an effective and innovative approach to improving functionality in geriatric rehabilitation.

Keywords: Geriatric rehabilitation, neuromotor training, technology-assisted rehabilitation, functionality

1. GİRİŞ

Dünya genelinde yaşam süresinin hızla uzamasıyla birlikte yaşlı nüfus oranında ciddi oranda artış görülmektedir (Wang et al., 2020). Küresel ölçekte nüfusun yaşlanması, sağlık sistemleri üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır (Mason & Miller, 2018). Yaşlanmaya bağlı kas-iskelet sistemi problemleri, denge ve koordinasyon bozuklukları, günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlığın azalmasına neden olmaktadır (Wang et al., 2024; Manckoundia et al., 2025). Geriatrik bireylerde ortaya çıkan fonksiyonel kayıplar, önemli bir halk sağlığı sorunudur. Bu nedenle geriatrik bireylerde fonksiyonelliğin artırılması büyük önem taşımaktadır (Manckoundia et al., 2025).

Son yıllarda sağlık alanındaki teknolojik gelişmeler, yenilikçi yaklaşımların uygulanmasına olanak sağlamıştır (Sinha, 2024). Teknoloji destekli nöromotor eğitim uygulamaları, fonksiyonel kapasitenin korunması ve geliştirilmesinde etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Cieślik et al., 2023). Geriatrik bireylerde bu uygulamaların fonksiyonellik üzerindeki etkilerinin incelenmesi önemlidir.

2. TEKNOLOJİ DESTEKLİ NÖROMOTOR EĞİTİM UYGULAMALARI

Nöromotor eğitim**,** santral ve periferik sinir sistemi ile kas-iskelet sistemi arasındaki etkileşimi geliştirmeyi amaçlayan bir eğitim yaklaşımıdır. Bu yaklaşım; motor kontrol, koordinasyon, denge, postür ve fonksiyonel hareket paternlerinin yeniden kazandırılmasına yönelik uygulamaları kapsamaktadır (Shumway-Cook & Woollacott, 2017; Chen et al., 2025). Motor öğrenme ve nöroplastisite ilkeleri, nöromotor eğitimin kuramsal temelini oluşturmaktadır. Nöromotor eğitim, duyusal girdilerin motor yanıtlarla bütünleşmesini destekleyerek santral sinir sistemi adaptasyonlarının ve nöromusküler fonksiyonun geliştirilmesini hedeflemektedir. Böylece fonksiyonel hareketlerin daha etkin, kontrollü ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

Teknoloji destekli nöromotor eğitim, nöromotor eğitim ilkelerinin teknolojik sistemler aracılığıyla uygulanmasını ifade eden bir rehabilitasyon yaklaşımıdır (Doronzo & Peconio, 2022). Sanal gerçeklik, robotik sistemler, giyilebilir teknolojiler ve mobil uygulamalar vb. teknolojilerle egzersizler desteklenmektedir. Teknoloji destekli nöromotor eğitim, hareket performansının objektif olarak değerlendirilmesine, gerçek zamanlı geri bildirim sağlanmasına ve egzersizlerin kişiselleştirilmesine olanak tanımaktadır (Reinkensmeyer & Boninger, 2012; Cieślik et al., 2023; Lee et al., 2023; Qiu et al., 2025). Geriatrik rehabilitasyonda bu uygulamalar, nöromotor süreçlerini destekleyerek tedavi etkinliğini artırmaktadır.

3. GERİATRİK REHABİLİTASYONDA TEKNOLOJİ DESTEKLİ NÖROMOTOR EĞİTİM UYGULAMALARININ FONKSİYONELLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Geriatrik rehabilitasyonda fonksiyonelliğin artırılmasına yönelik uygulamaların etkinliği, günlük yaşam aktivitelerine ne ölçüde yansıtılabildiği üzerinden değerlendirilmektedir (Edemekong et al., 2019). Teknoloji destekli nöromotor eğitim yaklaşımları, fonksiyonellik üzerinde çok yönlü sonuçlar ortaya koymaktadır (Cieślik et al., 2023; Turan et al., 2025).

Denge ve postüral kontrol, teknoloji destekli nöromotor eğitimin en belirgin etkilerinin görüldüğü alanlardandır. Sanal gerçeklik ortamlarında uygulanan denge görevleri ve giyilebilir sensörler aracılığıyla izlenen postüral yanıtlar, hareket farkındalığını artırmaktadır (Prasertsakul et al., 2018; Alhasan et al., 2021). Giyilebilir teknolojiler, sağladıkları geri bildirimlerle postüral düzenlemeleri iyileştirmektedir (Caixeiro et al., 2025). Dinamik denge gerektiren görevlerde hareket doğruluğunun artması, fonksiyonelliğin desteklenmesi açısından önemli bir kazanım olarak değerlendirilmektedir (Neptune & Vistamehr, 2019). Özellikle ayakta durma ve yön değiştirme sırasında postüral kontrolün korunması, geriatrik bireylerin günlük yaşamda karşılaştığı risklerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Horak, 2006).

Yürüme ve transfer aktiviteleri, teknoloji destekli nöromotor eğitimin fonksiyonellik üzerindeki kazanımların elde edildiği bir diğer alandır (Lee et al., 2025; Li et al., 2025). Robotik destekli yürüme sistemleri ve sensör tabanlı izleme teknolojileri, yürüme parametrelerini iyileştirmektedir (Lee et al., 2025; Naderer et al., 2025). Fonksiyonel kapasite artışı, transfer aktivitelerinin daha güvenli biçimde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır (Crocker et al., 2013; Naderer et al., 2025).

Günlük yaşam aktivitelerine katılım, fonksiyonel kazanımların klinik anlamlılığını ortaya koyan temel göstergelerdendir (Edemekong et al., 2019). Mobil uygulamalarla desteklenen nöromotor eğitim programları, egzersizlerin fonksiyonel görevlerle ilişkilendirilmesini sağlamaktadır (Li et al., 2025; Netz et al., 2025). Rehabilitasyon ile kazanılan motor becerilerin günlük yaşama aktarılması, bireyin bağımsızlık düzeyinin korunması açısından oldukça önemlidir (Crocker et al., 2013; Laverde et al., 2024). Teknoloji destekli nöromotor eğitim yaklaşımları, klinik kazanımların günlük yaşam aktivitelerine aktarılmasını kolaylaştırarak fonksiyonel bağımsızlığın sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (Cieślik et al., 2023; Albarqi, 2024; Turan et al., 2025).

Bilişsel-motor etkileşim, fonksiyonellik üzerinde önemli etkilere sahiptir (Bayot et al., 2018). Sanal gerçeklik destekli uygulamalar, dikkat, algı ve motor planlama süreçlerini eş zamanlı

aktive eden görevler içermektedir (Bohil et al., 2011). Çoklu uyaran ortamlarında gerçekleştirilen görevler, motor yanıtların bilişsel süreçlerle bütünleşmesini desteklemektedir (Leung et al., 2022). Teknoloji destekli uygulamalar, karmaşık hareket ve bilişsel yük gerektiren görevlerde performansı artırmaktadır (Cajamarca et al., 2023; Li et al., 2025).

Kişiselleştirilmiş rehabilitasyon, teknoloji destekli nöromotor eğitim uygulamalarında fonksiyonel kazanımların anlamlı düzeyde ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Benadduci et al., 2025). Giyilebilir teknolojiler ve dijital izleme sistemleri aracılığıyla elde edilen veriler, egzersiz yoğunluğu ve zorluk düzeyinin kişiye özel ayarlanmasını sağlayarak fonksiyonelliğin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu yaklaşım, rehabilitasyon sürecinden elde edilebilecek faydayı artırmaktadır (Fabbrizio et al., 2023; Pembayun et al., 2025).

Egzersize uyum ve süreklilik geriatrik rehabilitasyonda sık karşılaşılan sorunlar arasında yer almaktadır (Zhu et al., 2022). Teknoloji tabanlı egzersiz uygulamaları, rehabilitasyon sürecine aktif katılımı sağlamaktadır (Androutsou et al., 2020). Performansa dayalı geri bildirim mekanizmaları, bireyin ilerlemesini somut biçimde izlemesine olanak tanıyarak motivasyon düzeyini artırmaktadır. Bu durum, rehabilitasyon programlarının sürekliliği açısından önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Düzenli katılımın sağlanması, fonksiyonel kazanımların kalıcılığı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Valenzuela et al., 2018; Knippenberg et al., 2021; Moore et al., 2021).

4. SONUÇLAR

Teknoloji destekli nöromotor eğitim uygulamaları, elde edilen motor kazanımların günlük yaşam aktivitelerine aktarımını kolaylaştırarak yaşlı bireylerde fonksiyonel bağımsızlığın korunmasına ve geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, farklı teknoloji türlerinin etkilerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, bu yaklaşımların klinik uygulamalardaki yerinin daha net ortaya konmasını sağlayacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine katkı sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK), 2224-B Yurt İçi Bilimsel Etkinliklere Katılımı Destekleme Programı kapsamında sağladıkları destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Albarqi, M. N. (2024). Exploring the effectiveness of technology-assisted interventions for promoting independence in elderly patients: A systematic review. In Healthcare (Vol. 12, No. 21, p. 2105). MDPI.

2. Alhasan, H., Alshehri, M. A., Wheeler, P. C., & Fong, D. T. (2021). Effects of interactive videogames on postural control and risk of fall outcomes in frail and pre-frail older adults: a systematic review and meta-analysis. Games for health journal, 10(2), 83-94.
3. Androutsou, T., Kouris, I., Anastasiou, A., Pavlopoulos, S., Mostajeran, F., Bamiou, D. E., ... & Koutsouris, D. (2020). A smartphone application designed to engage the elderly in home-based rehabilitation. Frontiers in digital health, 2, 15.
4. Bayot, M., Dujardin, K., Tard, C., Defebvre, L., Bonnet, C. T., Allart, E., & Delval, A. (2018). The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. Neurophysiologie Clinique, 48(6), 361-375.
5. Benadduci, M., Franceschetti, C., Marziali, R. A., Frese, S., Sándor, P. S., Tombolesi, V., ... & Rossi, L. (2025). An Integrated Virtual Reality–Based Telerehabilitation Platform to Support Recovery and Maintenance of Functional Abilities Among Older Adults: Protocol for a Usability and Acceptability Study. JMIR Research Protocols, 14(1), e68358.
6. Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. Nature reviews neuroscience, 12(12), 752-762.
7. Caixeiro, D., Cordeiro, T., Constantino, L., Carreira, J., Mendes, R., Silva, C. G., & Castro, M. A. (2025). Effectiveness of Wearable Devices for Posture Correction: A Systematic Review of Evidence from Randomized and Quasi-Experimental Studies. Applied Sciences, 16(1), 81.
8. Cajamarca, G., Proust, V., Herskovic, V., Cádiz, R. F., Verdezoto, N., & Fernández, F. J. (2023). Technologies for managing the health of older adults with multiple chronic conditions: A systematic literature review. In Healthcare (Vol. 11, No. 21, p. 2897). MDPI.
9. Chen, B., Deng, L., Liu, Y., Deng, X., & Yuan, X. (2025). The Effect of Integrative Neuromuscular Training on Enhancing Athletic Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. Life, *15*(8), 1183.
10. Cieślik, B., Mazurek, J., Wrzeciono, A., Maistrello, L., Szczepańska-Gieracha, J., Conte, P., & Kiper, P. (2023). Examining technology-assisted rehabilitation for older adults' functional mobility: a network meta-analysis on efficacy and acceptability. Npj Digital Medicine, 6(1), 159.

11. Crocker, T., Young, J., Forster, A., Brown, L., Ozer, S., & Greenwood, D. C. (2013). The effect of physical rehabilitation on activities of daily living in older residents of long-term care facilities: systematic review with meta-analysis. Age and ageing, 42(6), 682-688.
12. Doronzo, F., & Peconio, G. (2022). Towards the guidelines: application of technologies, in neuro-motor rehabilitation, in order to improve psycho-cognitive skills. Medical Humanities & Medicina Narrativa-Mhmn, 6(2), 159-174.
13. Edemekong, P. F., Bomgaars, D., Sukumaran, S., & Levy, S. B. (2019). Activities of daily living. In StatPearls. StatPearls Publishing.
14. Fabbrizio, A., Fucarino, A., Cantoia, M., De Giorgio, A., Garrido, N. D., Iuliano, E., ... & Macaluso, F. (2023). Smart devices for health and wellness applied to tele-exercise: an overview of new trends and technologies such as IoT and AI. In Healthcare (Vol. 11, No. 12, p. 1805). MDPI.
15. Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?. Age and ageing, 35(suppl_2), ii7-ii11.
16. Knippenberg, E., Timmermans, A., Palmaers, S., & Spooren, A. (2021). Use of a technology-based system to motivate older adults in performing physical activity: a feasibility study. BMC geriatrics, 21(1), 81.
17. Laverde, P. B. J., Chacón, L. J. R., Soto, G. F. F., Sánchez, M. A. V., & Villacís, E. Y. S. (2024). Motor reeducation to improve activities of daily living in older adults. Ibero-American Journal of Health Science Research, 4(s), 210-220.
18. Lee, C., Ahn, J., & Lee, B. C. (2023). A systematic review of the long-term effects of using smartphone-and tablet-based rehabilitation technology for balance and gait training and exercise programs. Bioengineering, 10(10), 1142.
19. Lee, S. H., Kim, E., Kim, J., Lee, H. J., & Kim, Y. H. (2025). Robot-assisted exercise improves gait and physical function in older adults: a usability study. BMC geriatrics, 25(1), 192.
20. Leung, C., Wong, K. C., So, W. W., Tse, Z. C., Li, D., Cao, Y., & Shum, D. H. (2022). The application of technology to improve cognition in older adults: A review and suggestions for future directions. PsyCh journal, 11(4), 583-599.
21. Li, Y., Liu, Y., Leung, A. Y., & Montayre, J. (2025). Technology-Assisted Motor-Cognitive Training Among Older Adults: Rapid Systematic Review of Randomized Controlled Trials. JMIR serious games, 13, e67250.

22. Manckoundia, P., Mourey, F., Larosa, F., & Renoncourt, T. (2025). Balance and Gait Disorders in the Aged Population. Causes, Assessment and Management: A Literature Review. Clinical Interventions in Aging, 1945-1962.
23. Mason, C. N., & Miller, T. (2018). International projections of age specific healthcare consumption: 2015–2060. The Journal of the Economics of Ageing, 12, 202-217.
24. Moore, K., O'Shea, E., Kenny, L., Barton, J., Tedesco, S., Sica, M., ... & Timmons, S. (2021). Older adults' experiences with using wearable devices: qualitative systematic review and meta-synthesis. JMIR mHealth and uHealth, 9(6), e23832.
25. Naderer, M., Kim, Y., Kim, T. H., & Kim, Y. (2025). Development and control of a robotic assistant walking aid for fall risk reduction. Frontiers in Robotics and AI, 12, 1646803.
26. Neptune, R. R., & Vistamehr, A. (2019). Dynamic balance during human movement: measurement and control mechanisms. Journal of Biomechanical Engineering, 141(7).
27. Netz, Y., Bar-Shalom, S., Argov, E., Arnon, M., Benmoha, E., Yekutieli, Z., ... & Jacobs, J. M. (2025). A Smartphone Platform for Remote Motor Fitness Assessment and AI-Generated Personalized Exercise Programs for Older Adults: Randomized Controlled Trial. Journal of Medical Internet Research, 27, e73145.
28. Pembayun, N. S. R., Bakti, A. P., Rakhman, M. A., Wijaya, N. A., Wrahatnala, B. J., Soraya, M., & Halim, A. (2025). Wearable health technology in personalized care: Its role in disease prevention and monitoring. In E3S Web of Conferences (Vol. 640, p. 03006). EDP Sciences.
29. Prasertsakul, T., Kaimuk, P., Chinjenpradit, W., Limroongreungrat, W., & Charoensuk, W. (2018). The effect of virtual reality-based balance training on motor learning and postural control in healthy adults: a randomized preliminary study. Biomedical engineering online, 17(1), 124.
30. Qiu, Q., Karunakaran, K. K., Shoval, H. A., & Alokaily, A. O. (2025). Technology aided personalized motor rehabilitation for individuals with neurological diseases. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 13, 1595330.
31. Reinkensmeyer, D. J., & Boninger, M. L. (2012). Technologies and combination therapies for enhancing movement training for people with a disability. Journal of neuroengineering and rehabilitation, 9(1), 17.
32. Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). Motor control: Translating research into clinical practice (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

33. Sinha, R. (2024). The role and impact of new technologies on healthcare systems. Discover Health Systems, 3(1), 96.
34. Turan, G. G., Ergün, B., & Kızılay, F. (2025). Accessible Technologies That Support and Aim to Improve Physical Activity in the Elderly. Gevher Nesibe Journal Of Medical and Health Sciences, 10(1), 129–137.
35. Valenzuela, T., Okubo, Y., Woodbury, A., Lord, S. R., & Delbaere, K. (2018). Adherence to technology-based exercise programs in older adults: a systematic review. Journal of geriatric physical therapy, 41(1), 49-61.
36. Wang, H., Abbas, K. M., Abbasifard, M., Abbasi-Kangevari, M., Abbastabar, H., Abd-Allah, F., ... & Damiani, G. (2020). Global age-sex-specific fertility, mortality, healthy life expectancy (HALE), and population estimates in 204 countries and territories, 1950–2019: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. The Lancet, 396(10258), 1160-1203.
37. Wang, J., Li, Y., Yang, G. Y., & Jin, K. (2024). Age-Related Dysfunction in Balance: A Comprehensive Review of Causes, Consequences, and Interventions. Aging and disease, 16(2), 714–737.
38. Zhu, Y., Cheng, K., Wang, H., Xu, Z., Zhang, R., Cheng, W., ... & Lyu, W. (2022). Exercise adherence and compliance and its related factors among elderly patients with type 2 diabetes in China: a cross-sectional study. Patient preference and adherence, 3329-3339.[1]

[1] Bu çalışmada üretken yapay zeka araçları dil kontrolünde kullanılmış olup, bilimsel içeriğin doğruluğu ve sorumluluğu yazarlara aittir.

Acil Serviste Adli Olgu Yönetimi: İlk Değerlendirme ve Bildirim Süreçleri

Dr. Öğr. Üyesi Samet KIYAK[1]
[1] Balıkesir Üniversitesi Tıp Fakültesi, Adli Tıp Anabilim Dalı
sametkiyak7@hotmail.com – https://orcid.org/0000-0003-3691-6355

ÖZET

Acil servisler, acil tıbbi müdahale gerektiren vakaların ilk durağı olmasının yanında pek çok adli vakanın da ilk durağıdır. Acil servislere adli vaka olarak sıklıkla trafik kazaları, iş kazaları, yüksekten düşme, intihar girişimleri, darp ve cinsel saldırı gibi olgularla karşılaşılır. Adli olgularda hekimler hem tıbbi hem de adli süreci yönetmek durumundadırlar. Bu bildiride, adli olguların acil serviste yönetilmesi hususunda yaşanan problemler ve de çözüm önerilerinin multidisipliner bir yaklaşımla değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Acil servislerde adli olguların uygun şekilde yönetilmesinde öncelikle dikkat edilecek hususların başında adli olguyu tanımak, hem tedavi hem de adli süreç için gerekli tüm tetkik ve konsültasyonları yapmak, tüm kayıtları eksiksiz tutmak, olayla ilgili delilleri muhafaza etmek ve de gecikmeye mahal bırakmadan adli mercilere bildirim yapmak büyük önem taşımaktadır. Travmatik yaralanmaların olduğu adli olgularda fizik muayenede lezyonların ayrıntılı bir şekilde tariflenmesi, kayıt edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yaşlı ve çocuk ihmal ve istismarı gibi hassas vakalarda, tüm hekimler gerekli tedavi sürecinin yanında adli süreci de ilerleterek koruyucu ve önleyici rol oynamaktadırlar.

Hekimlerin, adli vakalarda bazen çekingen davrandıkları bilinmektedir. Bu gibi durumlar adli vakaların geç bildirilmesi ya da bazı kayıtların eksik tutulması ile sonuçlanabilmektedir. Türk Ceza Kanunu (TCK) madde 280 sağlık çalışanları için adli bildirim yapılmasını mecburi kılmıştır.

Mezuniyet öncesi adli tıp eğitiminin ağırlığının artırılması ve mezuniyet sonrası senede en az 2 defa olacak şekilde hizmet içi eğitimlere devam edilmesi acil servis hekimleri başta olmak üzere tüm hekimlere ve diğer sağlık çalışanlarına büyük fayda sağlayacaktır.

Sonuç olarak, adli olgularda konsultan hekimlerin yanı sıra sosyal hizmet uzmanları, psikologlar ve adli makamlarla işbirliği içerisinde olunması yani sürece multidisipliner yaklaşım sağlanması adli sürecin sağlıklı olarak ilerlemesine önemli katkı sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Acil Tıp, Adli Vaka, Adli Bildirim, Multidisipliner Yaklaşım

KARDİYOVASKÜLER HASTALIKLARDA EVDE BAKIM UYGULAMALARININ YAŞAM KALİTESİNE ETKİSİ

Öğr. Gör. Dr., Zeynep YILDIRIM [1]
Iğdır Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü

zeynepbirge1@gmail.com- 0000-0001-7468-8467

Doç. Dr., Sonay BİLGİN [2]
Atatürk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, Halk Sağlığı Hemşireliği Anabilim Dalı

sonayverepbilgin@hotmail.com-0000-0003-2229-3820

ÖZET

Kardiyovasküler hastalıklar (KVH), dünyada ve Türkiye'de mortalite ve morbiditenin en önemli nedenleri arasında yer almaktadır. Kronik seyirli kalp yetmezliği ve koroner arter hastalığı gibi durumlar bireyin fiziksel, ruhsal ve sosyal yaşam alanlarını olumsuz etkileyerek yaşam kalitesinde belirgin düşüşlere neden olmaktadır. Bu nedenle evde bakım hizmetleri; hastaların tedavi ve bakım sürecine aktif katılımını sağlayan, komplikasyon gelişimini azaltan, öz bakım gücünü artıran, taburculuk sonrası sağlık hizmetlerinin sürekliliğini destekleyen etkili bir hemşirelik yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. Evde bakım uygulamalarının kardiyovasküler hastalığı olan bireylerde yaşam kalitesini belirgin biçimde artırdığı literatürde ortaya konmuştur. Özellikle kalp yetmezliği ve koroner arter hastalığı gibi durumlarda ev ortamında sunulan hemşirelik izlemleri, eğitim müdahaleleri ve fiziksel aktivite programları hastaların fonksiyonel kapasitesini güçlendirmekte, günlük yaşam aktivitelerini daha bağımsız sürdürebilmelerini sağlamaktadır. Ev ziyaretleri, telefon/tele-sağlık takipleri, eğitim temelli bakım müdahaleleri ve evde kardiyak rehabilitasyon programları hem hasta hem de bakım veren açısından iyileştirici sonuçlar doğurmaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda evde bakım uygulamalarının kardiyovasküler hastalıklarda yaşam kalitesini artırmada önemli bir koruyucu ve destekleyici rol üstlendiği söylenebilir. Bu çalışma, KVH olan bireylerde evde bakım uygulamalarının yaşam kalitesi üzerindeki etkilerini ele alan çalışmaları taramak amacıyla hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kardiyovasküler hastalıklar, evde bakım, yaşam kalitesi, hemşirelik, kardiyak rehabilitasyon.

ABSTRACT

Cardiovascular diseases (CVDs) are among the leading causes of mortality and morbidity worldwide and in Türkiye. Chronic conditions such as heart failure and coronary artery disease adversely affect individuals' physical, psychological, and social domains, leading to significant declines in quality of life. Therefore, home care services are defined as an effective nursing approach that promotes patients' active participation in the treatment and care process, reduces the risk of complications, enhances self-care capacity, and supports the continuity of health services after hospital discharge. The literature indicates that home care interventions significantly improve the quality of life of individuals with cardiovascular diseases. In particular, nursing follow-ups, educational interventions, and physical activity programs delivered in the home setting for conditions such as heart failure and coronary artery disease strengthen patients' functional capacity and enable them to perform activities of daily living more independently. Home visits, telephone or telehealth follow-ups, education-based care interventions, and home-based cardiac rehabilitation programs yield positive outcomes for both patients and caregivers. Based on these findings, it can be concluded that home care practices play a crucial preventive and supportive role in improving quality of life in individuals with cardiovascular diseases. This study was designed to review the literature examining the effects of home care interventions on quality of life in individuals with cardiovascular diseases.

Keywords: Cardiovascular diseases, home care, quality of life, nursing, cardiac rehabilitation.

GİRİŞ

Kardiyovasküler hastalıklar (KVH), küresel sağlık için büyük bir endişe kaynağıdır ve bulaşıcı olmayan kronik hastalıklar arasında en yüksek ölüm oranına sahiptir; dünya genelinde ölümlerin ve sakatlıkların önde gelen nedenidir ve toplam küresel ölümlerin yaklaşık %32'sini oluşturmaktadır (WHO,2021). Projeksiyonlar, 2030 yılına kadar yaklaşık 23,6 milyon kişinin kalp ve damar hastalıklarından etkileneceğini göstermektedir (Kahlor ve ark., 2024). TÜİK 2020 yılı verilerine göre; Türkiye'deki ölümlerin %41.5'inin iskemik kalp hastalıklarından, %23.8'inin ise kalple ilgili diğer hastalıklar nedeniyle olduğu belirtilmektedir (TÜİK, 2020).

Koroner arter hastalığı, kalp yetersizliği ve inme gibi durumları kapsayan kardiyovasküler hastalıkların çok boyutlu yapısı, bu hastalıkların yönetiminde kapsamlı bir yaklaşım benimsenmesini zorunlu kılmaktadır (Aggarwal ve ark., 2019). Kardiyovasküler bakım alanında gelişen yaklaşımlar arasında, kardiyovasküler hastalarda yaşam kalitesinin (YK) artırılması giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Hessami ve ark., 2021). Kardiyovasküler hastalıkların hastalık yükü genellikle sağlıkla ilgili yaşam kalitesi ölçütleri kullanılarak tahmin edilir. Yaşam kalitesi, bireylerin iyilik halinin ve sosyal rollerini, fiziksel ve psikolojik işlevlerini yerine getirme yeteneğinin öznel değerlendirmesini ifade eder (Rashidi ve ark.,2025). Kardiyovasküler hastalık atakları, hastalar arasında yaşam kalitesi üzerinde karmaşık ve bozucu etkilere sahiptir ve daha yüksek yeniden hastaneye yatış ve ölüm oranlarıyla pozitif korelasyon göstermektedir (Conradie ve ark., 2022).

Tıp alandaki ilerlemeler kardiyovasküler hastalıkların prognozunu önemli ölçüde iyileştirmiş olsa da, bu hastalıkların bireylerin fiziksel, psikolojik ve sosyal iyilik hâli üzerindeki çok yönlü etkileri, yalnızca tıbbi müdahalelerle sınırlı kalmayan bütüncül bir bakış açısını gerekli kılmaktadır (Hessami ve ark., 2021).

KVH yükü sadece mortalite oranlarıyla sınırlı kalmayıp aynı zamanda bireylerin yaşam kalitelerinde de belirgin bir şekilde bozulmaya sebep olmaktadır. Kardiyovasküler hastalıklarla mücadele süreci çoğu zaman tıbbi tedavilerin ötesine geçmekte; yaşam tarzı tercihlerini, istihdam olanaklarını ve günlük yaşam aktivitelerine katılım kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir (Argyriadis ve ark., 2022).

Hastanın genel iyilik hâlinin yaşam kalitesi ile yakından ilişkili olduğunun fark edilmesiyle birlikte, sağlık profesyonelleri giderek klinik bakımı; fiziksel işlevselliği artırmaya, duygusal dayanıklılığı güçlendirmeye ve sosyal katılımı desteklemeye yönelik stratejilerle bütünleştiren yaklaşımları benimsemeye başlamıştır (Zaman, 2020).

Kalp yetmezliği ve koroner arter hastalığı gibi KVH türlerinde hastaların hastane sonrası bakım süreçlerini destekleyen evde bakım hizmetlerinin yaşam kalitesi üzerinde belirgin bir iyileştirici etkisi olduğu literatürde yer almaktadır (Chen ve ark., 2018; Ye ve ark., 2023). Evde bakım uygulamaları yalnızca klinik seyrin değerlendirilmesini değil, aynı zamanda hastanın öz-bakım kapasitesini, tedaviye uyumunu ve semptom yönetimini de olumlu etkileyebilen bütüncül bir yaklaşımdır (Imran ve ark., 2019).

Evde bakım, hemşirelik girişimleri ile desteklenerek rehabilitasyonun sürekliliğini sağlar; hastaneye yeniden yatış oranlarını azaltır; hastaların fonksiyonel durumunu, sosyal uyumunu

ve günlük yaşam aktivitelerini geliştirmede önemli bir role sahiptir (Zwisler ve ark., 2016). Bu süreç hem hasta hem de ailesi için tedaviye ilişkin güven duygusu oluşturmakta; bireyin sağlık okuryazarlığı, öz yönetimi ve yaşam kalitesi bağlamında olumlu sağlık çıktıları ortaya koymaktadır (Antoniou ve ark., 2022).

Türkiye'de yapılan araştırmalarda da evde bakım ve hemşirelik temelli izlem süreçlerinin kalp yetmezliği olan bireylerde yaşam kalitesini geliştirdiği ve hastalığın yönetiminde etkili olduğu belirtilmektedir (Öz Alkan ve Enç, 2015). Bu bağlamda evde bakım hizmetlerinin KVH yönetiminde sürdürülebilir sağlık sonuçları elde etmede önemli bir bakım modeli olduğu söylenebilir.

Kardiyovasküler hastalıkların kronik doğası, yaşam kalitesinde belirgin düşüşe sebep olmakta ve hastaların sağlık hizmetlerine erişimde güçlük yaşamasına neden olabilmektedir. Evde bakım uygulamaları özellikle yaşlı ve hastane sonrası dönemde desteğe ihtiyaç duyan bireylerde etkili bir yaklaşım sunmaktadır (Kalhor ve ark., 2024). Evde sağlık izlemi, tele-sağlık uygulamaları ve evde kardiyak rehabilitasyonun yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler yarattığı birçok klinik araştırma tarafından gösterilmiştir (Saensoda ve ark., 2025). Bu nedenle, evde bakım uygulamalarının KVH yönetiminde öneminin değerlendirilmesi hem klinik hem de hemşirelik bakım uygulamaları açısından önem taşımaktadır.

Bu derlemede 1 Kasım–1 Aralık 2025 tarihleri arasında, Iğdır Üniversitesi e-kütüphane veri tabanı aracılığıyla Science Direct, Web of Science, Google Scholar, PubMed ve Wiley Online Library veri tabanlarında "Kardiyovasküler hastalıklar, evde bakım, yaşam kalitesi, hemşirelik, kardiyak rehabilitasyon" anahtar kelimeleri kullanılarak sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Son beş yıl içinde İngilizce ve Türkçe tam metin olarak yayınlanan araştırma makaleleri incelenmiştir. Derlemede 2020'den 2025'e kadar olan son beş yıl içindeki çalışmalar, KVH olan bireylerde evde bakım uygulamalarının yaşam kalitesi üzerindeki etkilerini ele alan çalışmalar ve kardiyovasküler hastalıklar, evde bakım, yaşam kalitesi, hemşirelik, kardiyak rehabilitasyon" anahtar kelimelerini içeren çalışmalar incelenmiş olup çalışmanın amacı kardiyovasküler hastalıklarda evde bakım uygulamalarının yaşam kalitesine etkisini ortaya koymaktır.

3. SONUÇ

Kardiyovasküler hastalıklar, yüksek mortalite ve morbidite oranlarının yanı sıra bireylerin fiziksel, psikolojik ve sosyal işlevselliğini olumsuz etkileyerek yaşam kalitesinde belirgin düşüşlere yol açmaktadır. Güncel literatür, yalnızca tıbbi tedavilere odaklanan yaklaşımların bu çok boyutlu etkiyi yönetmede yetersiz kaldığını; yaşam kalitesini merkeze alan bütüncül bakım modellerine gereksinim olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda evde bakım uygulamaları, özellikle kalp yetmezliği ve koroner arter hastalığı olan bireylerde hastane sonrası bakımın sürekliliğini sağlayan, öz bakım gücünü ve tedaviye uyumu

artıran, semptom kontrolünü destekleyen etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Hem uluslararası hem de Türkiye'de yapılan çalışmalar, hemşirelik temelli evde bakım hizmetlerinin yaşam kalitesini iyileştirdiğini ve hastaneye yeniden yatış oranlarını azalttığını ortaya koymaktadır.

Ayrıca evde sağlık izlemi, tele-sağlık ve ev temelli kardiyak rehabilitasyon uygulamalarının, özellikle yaşlı ve kırılgan hasta gruplarında erişilebilir ve sürdürülebilir bakım olanakları sunduğu görülmektedir. Bu doğrultuda evde bakım uygulamaları, kardiyovasküler hastalıkların yönetiminde yaşam kalitesini artırmaya yönelik etkili ve tamamlayıcı bir bakım modeli olarak değerlendirilmelidir. Gelecek çalışmalarda, evde bakım uygulamalarının uzun dönemli etkilerini ve farklı hasta gruplarındaki sonuçlarını inceleyen daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Aggarwal G, Cheruiyot I, Aggarwal S, Wong J, Lippi G, Lavie CJ, ... &Sanchis-Gomar F. Association of cardiovascular disease with coronavirus disease 2019 (COVID-19) severity: a meta-analysis. Current problems in cardiology. 2020; 45(8): 10061
2. Antoniou, V. vd. (2022). Effectiveness of Home-Based Cardiac Rehabilitation, Using Wearable Sensors, as a Multicomponent, Cutting-Edge Intervention. **https://doi.org/10.3390/jcm11133772**
3. Argyriadis, Ch Vlachou, A. Argyriadi. Quality of life for cardiovascular Patients: Promoting health at home. Review Clin. Pharmacol. Pharmacokinet. 2022, 36, 2, 75-81.
4. Chen, Y. W., Wang, C. Y., Lai, Y. H., Liao, Y. C., Wen, Y. K., Chang, S. T., Huang, J. L., & Wu, T. J. (2018). Home-based cardiac rehabilitation improves quality of life, aerobic capacity, and readmission rates in patients with chronic heart failure. *Medicine*, *97*(4), e9629. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000009629
5. Conradie, A., J. Atherton, E. Chowdhury, et al. 2022. "Health-Related Quality of Life (HRQoL) and the Effect on Outcome in Patients Presenting With Coronary Artery Disease and Treated With Percutaneous Coronary Intervention (PCI): Differences Noted by Sex and Age." *Journal of Clinical Medicine* **11**, no. 17: 5231. **https://doi.org/10.3390/jcm11175231**
6. Hessami A, Shamshirian A, Heydari K, Pourali F, Alizadeh-Navaei R, Moosazadeh M, ... & Rezaei N. Cardiovascular diseases burden in COVID-19: Systematic review and meta-analysis. The American journal of emergency medicine. 2021; 46: 382-391.
7. Imran, H.M. et al. (2019). *Home-Based Cardiac Rehabilitation Alone and Hybrid With Center-Based Cardiac Rehabilitation in Heart Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis*. Journal of the American Heart Association https://doi.org/10.1161/JAHA.119.012779
8. Kalhor, F. et al. (2024). The impact of home care on individuals with chronic heart failure. *Nursing Reports.* https://doi.org/10.48305/arya.2024.42356.2931
9. Kalhor, F., Shahzeydi, A., & Taghadosi, M. (2024). The impact of home care on individuals with chronic heart failure: A comprehensive review. *ARYA atherosclerosis*, *20*(3), 45–56. https://doi.org/10.48305/arya.2024.42356.2931
10. Öz Alkan, H., Enç, N.(2015). Kalp Yetersizliğinde Evde Bakım. KVHD, 6(9), 27-41. https://doi.org/10.5543/khd.2015.003
11. Rashidi, A., Whitehead, L., Newson, L., Walthall, H., Van Miert, C., Kemp, V., & Jones, I. (2025). *The effects of interventions on health-related quality of life of people living with cardiovascular disease: A systematic review*. **Journal of Clinical Nursing**. https://doi.org/10.1111/jocn.17770
12. Saensoda, S., Pokpalagon, P., & Chaiviboontham, S. (2025). The Effects of a Home-Based Cardiac Rehabilitation Program via the Line Application on Functional Capacity and Quality of Life Among Open-Heart Surgery Patients: A Quasi-Experimental Study. *Healthcare*, *13*(9), 1051. https://doi.org/10.3390/healthcare13091051
13. Türkiye İstatistik Kurumu (2020). Ölüm ve ölüm nedeni istatistikleri, 2020. Erişim: 8 Aralık 2025, https://data.tuik.gov.tr.

14. World Health Organization. Cardiovascular Diseases 2021. Available online: **https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1** (accessed on 3 Aralık 2021).
15. Ye, Y., Ma, J., Zhang, L., Fu, X., Aıkemu, A., Fan, P., Tang, B. (2023). Effect of home-based cardiac rehabilitation for patients with heart failure: A systematic review and meta-analysis. Int. J. Morphol., 41(1):246-256, 2023.
16. Zaman S, MacIsaac AI, Jennings GL, Schlaich MP, Inglis SC, Arnold R, ... & Bhindi R. Cardiovascular disease and COVID-19: Australian and New Zealand consensus statement. Medical Journal of Australia. 2020; 213(4): 182-187.
17. Zwisler, A. D., Norton, R. J., Dean, S. G., Dalal, H., Tang, L. H., Wingham, J., & Taylor, R. S. (2016). Home-based cardiac rehabilitation for people with heart failure: A systematic review and meta-analysis. *International journal of cardiology*, *221*, 963–969. https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.06.207

HİYALÜRONİK ASİDİN BİYOLOJİK ÖNEMİ VE SAĞLIKTA KULLANIMI

Sana TAGHVAMANESH
Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Taghvamaneshsana@gmail.com - ORCID ID: 0009-0006-5705-1636

Doç. Dr. Fatma AYAZ
Selçuk Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi,
fatma.ayaz@selcuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3994-6576

ÖZET

Hyalüronik asit (HA), vücutta deri, eklem sıvısı, bağ dokusu ve gözde doğal olarak bulunan, su tutma kapasitesi yüksek bir glikozaminoglikandır. HA, mikrobiyal fermantasyon yoluyla veya hayvansal kaynaklardan elde edilir. Son yıllarda deniz kaynaklı HA biyouyumluluk ve antioksidan özellikleriyle dikkat çekmektedir. HA, viskoelastik özellikleri sayesinde doku bütünlüğünü korur, hücre yenilenmesini destekler ve hidrasyonu sağlar. HA'nın, molekül ağırlığına göre biyolojik etkileri değişir. Yüksek moleküler ağırlıklı olan HA'lar, antienflamatuvar etki göstererek doku onarımını desteklerken; düşük moleküler ağırlıklı olanlar enflamasyonu uyarabilir. İnsanlarda yaşlanma ile HA'nın sentezinin azalması cilt elastikiyetinin kaybına yol açar. HA tıpta, eklem içi enjeksiyonlarda ağrı azaltıcı; göz cerrahisinde koruyucu; yara iyileşmesinde ve doku yenilenmesinde destekleyici olarak kullanılmaktadır. HA, kozmetik alanda dermal dolgu ve topikal formülasyonlarda cilt nemini artırmak, kırışıklıkları azaltmak ve elastikiyeti iyileştirmek amacıyla tercih edilir. Klinik çalışmalar, HA'nın güvenli, biyouyumlu ve etkili bir molekül olduğunu göstermektedir. Bu nedenle; HA tıp ve kozmetik alanlarında yaygın olarak kullanılan önemli bir biyopolimer olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hyalüronik asit, yaşlanma karşıtı, kozmetik, yara iyileşmesi, antienflamatuvar

HYALURONIC ACID'S BIOLOGICAL IMPORTANCE AND UTILIZATION IN HEALTHCARE

Sana TAGHVAMANESH

Selçuk University, Institute of Health Sciences,

Taghvamaneshsana@gmail.com - ORCID ID: 0009-0006-5705-1636

Assoc. Prof. Fatma AYAZ

Selçuk University University, Faculty of Pharmacy,

fatma.ayaz@selcuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3994-6576

ABSTRACT

Hyaluronic acid (HA) is a glycosaminoglycan with a high water retention capacity that is naturally found in the body's skin, additional fluid, connective tissue and eyes. HA is obtained through microbial fermentation or from animal sources. In recent years, marine-derived HA has drawn attention to its biocompatibility and antioxidant properties. HA maintains tissue integrity, supports cell regeneration, and provides hydration due to its viscoelastic properties. Its biological effects vary depending on molecular weight. High-molecular-weight HA supports tissue repair, while low-molecular-weight of it may induce inflammation. In humans, the synthesis of HA decreases with aging, leading to loss of skin elasticity. Medically, it is utilized as an intra-articular injection to reduce pain, as a protective agent in eye surgery, and as a promoter of wound healing and tissue regeneration. In the cosmetic field, HA is preferred in dermal fillers and topical formulations to increase skin hydration, reduce wrinkles, and improve elasticity. Clinical studies have shown that HA is a safe, biocompatible, and effective molecule. Therfore, HA is considered an important biopolymer, widely used in medical and cosmetic fields.

Keywords: Hyaluronic acid, anti-aging, cosmetic, wound healing, antiinflammatuary

1. GİRİŞ VE AMAÇ

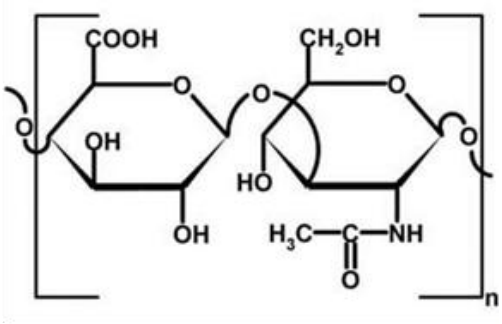
Hyalüronik asit (HA), vücutta yaygın olarak bulunan doğal bir polisakkarit olup, özellikle bağ dokularında, eklemlerde ve ciltte yoğun olarak bulunur. Yüksek moleküler ağırlıklı versiyonları, hücre dışı matriksin önemli bir bileşeni olarak, doku yapısının korunmasına ve hücresel fonksiyonların düzenlenmesine katkı sağlar. HA, su tutma kapasitesi sayesinde doku hidrasyonunu sağlar, aynı zamanda mekanik özellikleriyle hücrelerin yapışma ve hareket kabiliyetini etkiler. Bu özellikleri nedeniyle, HA'nın biyolojik aktiviteleri oldukça çeşitlidir ve birçok biyolojik süreçte yer alır. Ayrıca, çeşitli tedavi ve kozmetik uygulamalarda kullanımı giderek artmaktadır.

Bu derlemede, HA'nın biyolojik fonksiyonları, in vivo ve in vitro çalışmalarda elde edilen bulgular, kullanım alanları ve potansiyel yan etkileri üzerine kapsamlı bir değerlendirme yapılacaktır. Amaç, HA'nın biyolojik aktivitelerini ve klinik uygulamalarını ortaya koyarak, potansiyel faydalarını ve risklerini ortaya koyarak bilimsel literatüre katkı sağlamaktır.

1.1. Hyalüronik asit nedir?

Hyalüronik asit (HA), sülfatlanmamış bir mukopolisakkarit olarak bilinen bir glikozaminoglikandır (GAG). Bu nedenle, GAG'lar arasında en basit yapıya sahip olanlardan biri olarak kabul edilir. Hücredışı matrikste bulunan polisakkarit zincirleri, mukopolisakkaritler ya da GAG'lar olarak adlandırılır. GAG'lar, tekrarlayan disakkarit ünitelerinden oluşan dallanmamış polisakkaritlerdir (Görsel 1). Bu isimlendirme, içerdikleri tekrarlayan ünitelerden bir ya da iki şekerin amino şeker yapısında olmasından (N-asetilglikozamin, N-asetilgalaktozamin) kaynaklanmaktadır (Demirdögen, 2012).

HA, hücredışı matriksin önemli bir bileşenidir. Vücudun farklı bölgelerinde bulunmakla birlikte, özellikle eklem sıvısı (sinoviyal sıvı), göbek kordonu, dermis (alt deri), deri altı dokuları, kıkırdak, göz ve diş gibi özelleşmiş dokularda yüksek konsantrasyonlarda yer alır. Bu dokularda doku viskozitesini, osmotik dengeyi, şok emilimini, yara iyileşmesini ve boşluk doldurma işlevlerini düzenler. Düşük moleküler ağırlıklı HA varlığında daha az skar dokusu oluşurken, yüksek moleküler kütleye sahip HA ile iyileşen yaralarda doku bütünlüğü daha fazladır. Bu bulgular, HA'nın moleküler ağırlığı ile skarlaşma ve iyileşme süreci arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Aynı zamanda yüksek moleküler ağırlıklı HA'nın doku bütünlüğünü ve hücre durgunluğunu desteklediği; düşük moleküler ağırlıklı HA parçalarının (yaklaşık 103 Da) ise doku hasarını işaret ettiği ve enflamatuvar (iltihap) yanıtı başlattığı da bulunmuştur. Ayrıca hücreler arası bağlantıyı destekler, oksijen ve besin maddelerinin geçişini kolaylaştırır, hücrelerin çoğalmasına ve göç etmesine katkıda bulunur. Tendon ve kıkırdak dokularında esneklik ve dayanıklılığı artırırken, eklem boşluklarında kayganlık sağlayarak hareketi kolaylaştırır. Ses tellerinde de bazı viskoelastik özellikler kazandırarak ses üretimi açısından önemli bir rol oynar. Ayrıca, ovumun etrafında bulunan HA tabakası, spermler için seçici bir bariyer görevi üstlenerek döllenme sürecinde kritik bir rol oynar (Necas ve ark., 2008; Demirdögen, 2012).



Görsel 1. Hyalüronik Asidin (HA) Kimyasal Yapısı

1.2. Hyalüronik asidin tarihçesi

1934 yılında Karl Meyer ve meslektaşı John Palmer, ineklerin gözlerindeki vitreus cisimden daha önce bilinmeyen kimyasal bir madde izole ettiler. Bu maddenin iki şeker molekülü içerdiğini ve bunlardan birinin uronik asit olduğunu keşfettiler. Kolaylık sağlamak adına, bu maddeye "hyalüronik asit" adını verdiler. Bu popüler isim, Yunanca "cam" anlamına gelen "hyalos" kelimesi ile uronik asit kelimesinin birleşiminden türetilmiştir (Meyer ve Palmer, 1934). O zamanlar, keşfettikleri bu maddenin en ilginç ve faydalı doğal makromoleküllerden biri olacağını bilmiyorlardı. Hyalüronik asit , ilk olarak 1942 yılında ticari amaçla kullanıldı (Necas ve ark., 2008).

Hyalüronik asit insanlar için ilk tıbbi uygulaması, 1950'li yılların sonlarında göz cerrahisinde vitreus yerine kullanımıyla başladı. Kullanılan hyaluronan başlangıçta insan göbek kordonundan izole edildi, kısa bir süre sonra ise tavuk ibiğinden yüksek saflıkta ve yüksek moleküler ağırlıkta elde edilmeye başlandı (Meyer ve Palmer, 1934). Hyalüronik asitkimyasal yapısı esasen 1950'li yıllarda Karl Meyer ve çalışma arkadaşları tarafından çözüldü. İlk olarak bir asit formunda izole edilmişti, fakat fizyolojik koşullar altında bir tuz (sodyum hyaluronat) gibi davrandığı görüldü (Necas ve ark., 2008).

"Hyalüronik asit" terimi, polisakkaritlerin uluslararası adlandırma kurallarına uyum sağlamak amacıyla 1986 yılında tanıtıldı ve bu terim Endre Balazs'a atfedilir. Bu terim, molekülün farklı formlarını kapsamak üzere ortaya atıldı; örneğin, asit formu olan hyalüronik asit (HA) ve fizyolojik pH'ta oluşan sodyum hyaluronat gibi tuz formları. Daha sonra HA birçok başka kaynaktan da izole edildi ve bu polisakkaridin fizikokimyasal yapısı, özellikleri ve biyolojik rolü çeşitli laboratuvarlarda yoğun biçimde incelendi (Necas ve ark., 2008).

1.3. Hyalüronik asit kaynağı

HA, doğal olarak vücutta bulunan bir bileşik olmasına rağmen, ticari üretimi genellikle mikroorganizmalardan veya hayvansal kaynaklardan elde edilmektedir (Çizelge 1). Deniz kaynaklı GAG'ler, doku mühendisliği ve rejeneratif tıpta önemli rol oynar. HA izolasyonu için genellikle horoz ibiği, omurilik, deri ve eklem sıvısı ve bakteriler kullanılır. Geleneksel olarak hayvansal dokulardan elde edilen HA, günümüzde mikrobiyal fermantasyon yöntemi ile daha verimli ve ekonomik şekilde üretilmektedir. *Streptococcus equi* subsp. *zooepidemicus* gibi grup C streptokokları, HA üretimi için model mikroorganizma olarak tercih edilmektedir. Kültür ortamındaki karbon ve azot kaynakları, tuzlar ve oksijen seviyesi HA üretim verimini doğrudan etkilemektedir. Besiyeri optimizasyonu, sıcaklık, pH ve karıştırma hızı gibi parametrelerin ayarlanması ile gerçekleştirilmekte ve HA'nın moleküler ağırlığını artırmaya yönelik

çalışmalar yapılmaktadır. Farklı besin bileşenlerinin kullanımı, üretim verimini iyileştirmek adına araştırılmaktadır. Kesikli, yarı-kesikli ve sürekli kültür sistemleri ile üretim yapılmakta, ancak kesikli sistemler yaygın olarak tercih edilmektedir. Oksijen seviyesinin HA'nın moleküler ağırlığı üzerindeki etkisi önemli bir araştırma konusudur. İki basamaklı fermantasyon modelleri, hücre büyümesini ve HA sentezini optimize etmek için geliştirilmektedir. Sürekli kültür sistemleri ise yüksek maliyet ve düşük fenotip stabilitesi nedeniyle sınırlı kullanım alanına sahiptir.

Ayrıca son zamanlarda yapılan çalışmalarda, HA'nın deniz canlılarından da izole edildiği görülmektedir. Fermantasyon yoluyla mikroorganizmalardan elde edilen HA'nın moleküler saflığı oldukça yüksektir ve izole edildiği kaynağın türüne göre de moleküler boyutu değişmektedir. Deniz kaynaklı HA, biyouyumluluk, yüksek su bağlama kapasitesi, viskoelastik özellikler ve yara iyileştirme gibi avantajlarıyla tıp ve kozmetik alanlarında önemli bir biyomalzemedir. Vücutta doğal olarak bulunduğu için biyouyumludur ve bağışıklık tepkisine neden olmaz. Su tutma kapasitesi sayesinde doku nemlendirme ve kayganlaştırma görevini üstlenir. Viskoelastik yapısı, eklem kayganlaştırıcıları ve şok emici uygulamalarda faydalıdır. Deniz hyaluronanı, balık gözleri, köpekbalıkları (deri ve kıkırdak), kılıç balığı, zebra balığı, çift kabuklu yumuşakçalar, vatoz karaciğeri ve kabuklu deniz ürünleri gibi deniz kaynaklarından elde edilen bir tür hiyalüronik asittir. Yapı ve biyolojik aktivite açısından horoz ibiği veya insan göbek kordonu gibi memeli kaynaklı hiyalüronanlara benzer, ancak bazı özellikleri farklılık gösterebilir. Önemli bir fark, deniz HA moleküler boyutunun memeli kaynaklı HAdaha küçük olduğu düşünülmesidir. Bu durum, cilt tarafından daha etkili bir şekilde emilmesini sağlayarak nemlendirme ve dolgunlaştırma özelliklerini artırabilir. Bununla birlikte, somon ve alabalık gibi balık kaynaklı hyalüronik asit , memeli kaynaklı HAkıyasla daha yüksek moleküler ağırlığa ve viskoziteye sahip olabileceğini gösteren çalışmalar da mevcuttur. Bu farklılıklar, üretim ve işleme yöntemleri ile türlere özgü özelliklerden kaynaklanabilir. Ayrıca, bazı araştırmalar, deniz HAantioksidan ve antienflamatuvar özelliklere sahip olabileceğini ve bu özelliklerin genel cilt sağlığına fayda sağlayabileceğini göstermektedir (Dıraçoğlu 2007, Mimiroğlu 2015, Abdel-Rahman ve Abdel-Mohsen 2023).

Çizelge 1. Hiyalüronik Asit Kaynakları (Dıraçoğlu (2007)

Horoz	Horoz ibiği
İnsan	Göbek kordonu, sinoviyal sıvı, epidermis
Sıçan	Akciğer, böbrek, beyin, karaciğer
Koyun	Eklem sıvısı, medulla korteks, akciğer
Tavşan	Renal papilla, böbrek, vitröz, kas
Bakteri	*Streptococcus* türler
Balık	Deri, kıkırdak, göz sıvısı ve omurilik
Büyükbaş hayvanlar	Sığır burun kıkırdağı

2.HYALÜRONİK ASİDİN BİYOLOJİK FONKSİYONLARI

HA, pasif bir yapısal molekül olarak ve sinyal iletici bir molekül olarak iki temel mekanizma ile biyolojik işlevlerini yerine getirir. Pasif mekanizma, HMWHA'nın (yüksek moleküler ağırlıklı hyalüronik asit) fizikokimyasal özelliklerine dayanır. HA makromoleküler yapısı, belirgin higroskopik özellikleri ve viskoelastik yapısı sayesinde, doku hidrasyonunu, osmotik dengeyi ve hücre dışı matriksin (ECM) fiziksel özelliklerini modüle edebilir. Bu şekilde, hücreler, kollajen ve elastin lifleri gibi ECM bileşenlerinin sağlam bir şekilde korunmasını sağlayarak, nemli ve stabil bir dış alan yapısı oluşturur.

HA, bağlanma molekülleriyle etkileşime girerek aynı zamanda bir sinyal iletici molekül olarak da işlev görür. Molekülün moleküler ağırlığı (MW), konumu ve belirli hücresel faktörlere (reseptör ekspresyonu, sinyal yolları ve hücre döngüsü) bağlı olarak, HA ile bağlanan proteinler, antienflamatuvar aktiviteler, hücre göçünü teşvik etme veya engelleme, hücre bölünmesi ve farklılaşmasını engelleme gibi karşıt etkiler yaratabilir. Ayrıca, HA, bazı sitokinlerle etkileşime girerek bağışıklık hücrelerinin fonksiyonlarını modüle edebilir. Örneğin, interlökin-8 (IL-8), fibroblastlar, monositler/makrofajlar, endotel hücreleri ve epitel hücreleri tarafından enflamasyon durumunda salınır. HA'nın IL-8 ile zayıf bir bağlanması, onun kaplama bileşiği olarak kullanılmasının istenmeyen bağışıklık yanıtlarını engelleme açısından avantajlı olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, IL-8 ile HA arasındaki etkileşimin elektrostatiği bir süreçten daha fazlası olduğu ve hidrojen bağları gibi sterik etkileşimlerin de bu etkileşimin özgüllüğünde önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bu etkileşimler, GAG'ların sülfatlanma derecesi ve IL-8 konsantrasyonuna bağlıdır, bu nedenle HA zincirine sülfat gruplarının eklenmesi, IL-8 ile bağlanmasını önemli ölçüde artırmaktadır. HA'nın biyolojik ve farmakolojik etkileri, ECM molekülleri ve hücre yüzeyi reseptörleri ile olan etkileşimleri aracılığıyla gerçekleşir. Bu etkileşimler, hücre ve organ gelişiminde, doku hasarına ve enflamasyona yanıt olarak, hücre göçü, kanser oluşumu ve direnci gibi süreçlerde önemlidir (Marinho, Nunes, & Reis 2021).

2.1.Hyalüronik asidin farmakokinetiği

HA memelilerde en çok deride bulunmaktadır. İnsan derisinde bulunan HA miktarı yaklaşık 5 gram civarındadır ve bu miktar, insan organizmasındaki toplam HA miktarının üçte biri kadar bir değere karşılık gelir. İnsan kan serumundaki HA seviyesi ise en düşük düzeyde bulunur. Sağlıklı genç bireylerde plazma düzeyi 20-40 µg/mL arasında değişmektedir. Farelerde yapılan bir çalışmada ise organizmadaki HA'ın %50'si deride bulunduğu gösterilmiştir. HA, bağ dokusunda ekstraselüler matriksin en önemli ve temel elemanıdır. Gözün vitöz sıvısında, hyalin kıkırdakta, eklem sıvısında, deride ve epidermiste yer almaktadır. Vitöz sıvı hacmini artırarak, tendonlar ve kaslar arasında kayganlık sağlamada, eklemlere esneklik kazandırmada, omurganın sağlamlığını artırmada ve gebelik korodunu sağlamak için anne ile fetus arasındaki ilişkiyi düzenlemede görev yapmaktadır. Ayrıca hücre motilitesi, hücresel proliferasyon, morfogenez, embriyonik gelişim, kanser metastazı ve enflamasyon gibi süreçlerde düzenleyici rol oynar. Diğer doğal ve sentetik polimerlere göre çok daha fazla su tutma kapasitesine sahiptir. HA, dokuların hidratasyonunda, nemlenmesinde, madde geçişinde, hücrelerin hareketinde ve farklılaşmasında önemli bir rol oynar. Bu yüzden ortopedi, romatoloji, oftalmoloji, dermatoloji ve kozmetik gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. HA sentezi, özellikle fibroblast gibi

hızlı proliferasyon gösteren hücrelerin plazma membranında gerçekleşir. Sentez hızı, hormonlar, yaş ve çevresel faktörler tarafından kontrol edilir (Çizelge 2). Sentezlenen HA, genellikle parçalara ayrılır veya lenf dolaşımıyla dokulardan genel kan dolaşımına taşınır.

Sağlıklı, genç bir insanda serum ve plazmadaki düzeyin azalma eğiliminde olduğu ve parçalanma hızının yaşla birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Doğal HA'nın küçük bir kısmı böbrek ve dalakta metabolize olur, ana metabolizma yeri ise karaciğerdir. Karaciğerin endotel hücreleri, HA'nın endositozunu sağlamak için özel reseptörler taşır. Endositoz sonrasında HA, lizozoma aktarılır ve enzimler (hyalüronidaz, beta-glukuronidaz, beta-N-asetilglukozaminidaz) tarafından glukuronik asit ve N-asetilglukozamine parçalanır. İnsanlarda bir günde en fazla 350 mg HA'nın metabolize olduğu gösterilmiştir. HA'nın kan dolaşımındaki yarı ömrü 3-5 dakika, deri ve eklemlerdeki yarı ömrü ise yaklaşık 12 saattir. Gözün anterior odacığındaki yarı ömrü 1-1,5 saat, vitöz bölgedeki yarı ömrü ise 70 gündür. Kıkırdak dokusunda yarı ömrü bir ile üç hafta arasında değişmektedir.

Akut stres durumlarında (şok, septisemi vs.) kan hacminin sabit tutulması ve dolaşım bozukluğunu önlemek için kan seviyesinde hızlı bir artış gözlemlenir. Ayrıca karaciğer ve böbrek hastalıklarında, romatoid artritte ve bazı kanserlerde HA seviyesi artmaktadır. HA, kan testlerinde belirli hastalıkların tanısı için kullanılır. Özellikle karaciğer hastalıkları, sepsis, greft reddi, psöriasis ve skleroderma gibi çeşitli enflamatuvar hastalıkların tanısında serumdaki yüksek HA düzeyinden faydalanılmaktadır. Ayrıca tümör hücrelerinde yüksek miktarda HA bulunur ve tümörün invazifliği ile doğru orantılı olarak seviyesinin arttığı bildirilmiştir. Enflamatuvar reaksiyonlarda HA'nın düzenleyici rolü araştırılmış, enflamasyon sırasında HA sentezinin arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar, HA'nın bazı endojen reseptörlerle etkileşimde olduğunu göstermektedir (Akbelen Kaya ve Muğlalı 2016).

Çizgele 1. Hyalüronik Asitin Sentezlenme Hızını Etkileyen Faktörler (Akbelen Kaya ve Muğlalı 2016)

Güneş ışığı	artma
Sitokinler	artma
Lipopolisakkarit	artma
Düşük Ph	artma
Retinoidler	artma
Meyve Asitleri	artma
Yaşlanma	azalma
Östrojenler	azalma

2.2. Hyalüronik asidin tıpta kullanımı

HA, vücuttaki hemen hemen tüm hücreler tarafından sentezlenir ve bu yaygınlığı, ona birçok hayati biyolojik işlev kazandırır.

a) HA'nın oluşturduğu viskoz jel, eklemleri yağlayarak çevredeki dokular için bir tampon görevi görür.

b) Doku yenilenmesi ve onarımı süreçlerine katkıda bulunur, özellikle iyileşme sürecinde etkilidir.

c) HA, mekanik ve genişleyebilme özellikleriyle hücre yapışması ve genişlemesi gibi işlevleri düzenleyebilir.

d) Hücre zarının lokal özelliklerini değiştirebilir, harici bir iskelet gibi davranarak hücre şeklinin kontrolüne katkıda bulunur.

e) Doku hasarı durumunda, HA aktif olarak üretilir ve inflamatuar hücrelerin aktivasyonu gibi mekanizmalarla doğal bir bağışıklık yanıtı oluşturur.

f) Yapılan son çalışmalar, rejeneratif cerrahi işlemler sırasında yara bölgesindeki bakteriyel yükün azaltılmasının klinik sonuçları iyileştirebileceğini göstermektedir. Orta ve düşük moleküler ağırlığa sahip yüksek konsantrasyonlu HA, güçlü bakteriyostatik etkiye sahiptir.

HA’nın sahip olduğu anti-enflamatuvar, immünomodülatör, anti-proliferatif, anti-diyabetik, anti-aging (yaşlanma karşıtı), yara iyileştirici ve doku yenileyici özellikler, onu biyomedikal uygulamalar için cazip bir molekül haline getirir. (Akbelen Kaya ve Muğlalı 2016, Marinho ve ark 2021)

HA, tedavi amaçlı kullanımının yanı sıra ilaç taşıyıcı yapısı ile de kullanılır. Özellikle oftalmik, nazal ve yapar parenteral yollarla ilaç taşıyan sistemlerde HA'nın kullanımıyla ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Akciğerlerden ilaç uygulamaları, implant edilebilen sistemlerin geliştirilmesi ve gen tedavisi amacıyla hazırlanan taşıyıcı sistemlerde de HA'nın kullanımı görülmektedir. HA'nın mukoadhezif özellikleri, taşıdığı ilaç molekülünün in-vivo ortamda salınımını ve emilim hızını değiştirir. Bunların yanı sıra, dermal yol ile uygulanacak yarı katı sistemler de taşıyıcı sıva olarak kullanılabilir.Bu amaçla, akitnik keratoz tedavisinde Amerika ve birçok Avrupa ülkesinde satışa sunulmaya başlanan, %3 diklofenak içeren bir topikal ürünün (Solareze®) formülasyonunda taşıyıcı jel (%2.5 HA) kullanılmıştır.Topikal ürünlerde kullanılan HA'nın, diğer jel oluşturucu maddelere kıyasla daha fazla su tutma kapasitesine sahip olduğu ve bu nedenle etkili molekülün deri bariyerinden geçişini kolaylaştırdığı bildirilmiştir. Yapılan bir çalışmada, deri yüzeyine uygulanan HA'nın hem insan hem de sıçan derisinden emilebildiği gösterilmiştir. Bunun bir nedeni, deride HA reseptörlerinin bulunması ve yüzeye uygulanan HA moleküllerinin doğrudan bu reseptörlere yönelmesidir. Diğer bir neden ise molekülün hem hidrofilik hem de lipofilik kısımlarının olması, bu da deri bariyerinden geçişini kolaylaştırır. Sonuç olarak, bu durum HA'nın hem deri yüzeyine uygulandığında etkili molekülün deri bariyerinden geçişini artırmasını, hem de hidrat duruma gelmiş epidermal tabakalarda ilaç molekülünün tutulmasını ve nihayetinde derinin alt tabakalara geçişini azaltmasını sağlar (Tırnaksız ve Kaymak 2008).

Çizgele 2. Hyalüronik Asitin Farmasötik Amaçla Kullanım Alanlarına Bazı Örnekler (Tırnaksız ve Kaymak 2008)

Alan	**Kullanim Nedeni**	**Örnek Etken Madde**
Oftalmik yolu	İlaçın gözde kalma süresini artırmak	Pilokarpin, Tropikamid, Timolol, Gentamisin, Tobramisin
Nazal yolu	Biyoadhezyonu artırmak, emilim artırıcı ve çözünme hızını ayarlayıcı	Vazopresin, Gentamisin, Siklometazolin
Pulmonar yolu	Çözünme hızını ayarlayıcı	Insülin
Implant yolu	İlaç molekülünü taşıyıcı ve çözünme hızını ayarlayıcı	İnsülin
Parenteral tedavisi	Lipozomal tutulmayı hızlandırıcı	Taksol, süperoksit dismutaz, doksorubisin, büyüme faktörü
Gen yolu	Çözünme hızını ayarlama, koruma, hedefleme	Plasmid DNA/monoklonal antikorlar

2.3. Hyalüronik asidin kozmetikte kullanımı

Günümüzde HA, kozmetik formülasyonlarda en yaygın kullanılan aktif bileşenlerden biridir. Cilt yenilenmesi konusundaki genel algı, hem sektör profesyonelleri hem de tüketiciler için sürekli ilgi odağı olmaya devam etmektedir. Cildin bireylerin sağlık durumunu yansıtan önemli bir gösterge olduğu açıktır ve HA, sağlıklı bir cilt için temel faktörlerden biridir. HA, hem kozmetik hem de biyomedikalde geniş bir kullanım alanı sahip olması nedeniyle bilimsel açıdan büyük ilgi gören bir biyopolimerdir.

Bilimsel çalışmalar, belirli moleküler ağırlığa sahip biyopolimerlerin üretimi üzerine odaklanmaktadır, çünkü HA'nın biyolojik işlevi doğrudan moleküler ağırlığıyla ilişkilidir:

-Düşük Moleküler Ağırlıklı HA (LMW-HA): Cildin nem seviyesini artırır ve yenilenme sürecini hızlandırır.

-Yüksek Moleküler Ağırlıklı HA (HMW-HA): Cilde uygulandığında viskoelastik bir film oluşturur ve güçlü bir nemlendirme etkisi sağlar. HMW-HA, suyun ciltten buharlaşmasını azaltarak nemin cilt içinde tutulmasını sağlayan oklüzif bir etkiye sahiptir.

-Orta Moleküler Ağırlıklı HA (MMW-HA): Nem tutucu özellikleri sayesinde cilt hidrasyonunu korumaya yardımcı olur.

HA uzun yıllar önce sentezlenmiş olmasına rağmen, fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri açısından hala daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. HA' yüksek higroskopiklik (su tutma kapasitesi), viskoelastik doğa, biyouyumluluk ve İmmünojenik olmaması için kozmetik alanda:

a) cilt bakımı ve nemlendirme

b) dolgu maddesi

c) yaşlanma karşıtı

d) saç sağlığında

yaygın olarak kullanılır.

HA, epidermiste dermisten daha fazla sentezlenmektedir. Dermis, epidermise kıyasla daha kalın olmasına rağmen, dört ila dokuz kat daha fazla HA içerir. Ancak, eşit doku miktarları baz alındığında, epidermisin dermise göre dört kat daha fazla HA sentezlediği belirlenmiştir. Epidermiste HA, bazal ve dikenli tabakaların hücreler arası matriksinde bulunur. Dermiste olduğu gibi, hiyalüronik asidin higroskopik özellikleri, epidermisin derin katmanlarının nemlenmesinde önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, HA'nın etkisi sadece klasik nemlendirme ile sınırlı değildir. Hiyalüronik asit, kendi hacminin 1000 katı kadar su tutma kapasitesine sahiptir. Bu özelliği sayesinde hücre büyümesine, hücre yapışmasına ve hücre zarındaki reseptörlerin işlevine katkıda bulunur. HA'nın hücreler arası matriksteki temel biyolojik rolü, hücreler arası yapıların güçlendirilmesi ve kolajen ile elastin liflerini çevreleyen elastoviskoz bir sıvı matriks oluşturmasıdır (Juncan ve ark. 2021, Karadağ 2024).

Kremler veya losyonlar gibi HA içeren kozmetik ürünler cildi nemlendirir, elastikiyeti artırır ve kırışıklıkların derinliğini azaltır. HA'nın cilt yüzeyine uygulanmasıyla, nemi emerek ve cildi nemlendirerek ince çizgileri doldurduğu varsayılmaktadır. Ayrıca HA, epidermal hücre göçünü uyararak cilt yenilenmesine katkıda bulunabilir. HA'nın oluşturduğu oklüzif özellikler, cilde uygulanan diğer biyolojik olarak aktif bileşenlerin cilt katmanlarında daha uzun süre kalmasını sağlayabilir ve epidermise daha kolay nüfuz etmelerine yardımcı olabilir. Önceki çalışmalara göre, bazı kozmetik HA ürünleri cildi UV radyasyonuna karşı koruma konusunda etkili bulunmuştur. Güneş koruyucu ürünlerde kullanılan HA, cildin daha sıkı ve esnek kalmasına yardımcı olurken, aynı zamanda UV ışınlarının zararlı etkilerine karşı antioksidan koruma sağlayabilir. Kozmetik formülasyonlarda, HA genellikle viskozite düzenleyici veya cilt bakım ajanı olarak kullanılır. Günümüzde HA, C vitamini ile birleştirilerek cilt aydınlatıcı etkiler sağlamakta, peptitlerle kombine edildiğinde ise kolajen üretimini teşvik etmektedir. Lazer tedavileri ve mikroiğneleme gibi dermatolojik prosedürlerle birlikte kullanıldığında cilt yenilenmesini hızlandırarak iyileşme süresini kısaltır. Estetik tıp ve dermatoloji alanında HA, nemlendirici ve dolgunlaştırıcı özellikleri sayesinde yaşlanma karşıtı uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Dermal dolgu maddeleri, yüz hatlarını belirginleştirmek, hacim kaybını gidermek ve kırışıklıkları doldurmak amacıyla kullanılmaktadır. Çapraz bağlı HA teknolojisi, bu dolguların daha uzun süreli etkili olmasını sağlarken, mezoterapi ve mikroenjeksiyon yöntemleriyle uygulandığında cilt yenilenmesini destekler. Bununla birlikte,

yara izleri ve akne sonrası cilt dokusunun onarılmasında da etkili olan HA, lazer ve kimyasal peeling sonrası kullanılan serumlarla cilt bariyerini güçlendirerek iyileşme sürecini hızlandırır. Günümüzde nanoteknoloji ve genetik bilim alanındaki gelişmeler, HA'nın cilt bakımındaki etkinliğini artırarak daha uzun süreli ve hedefe yönelik çözümler sunmaktadır (Juncan ve ark. 2021, Karadağ 2024).

Saç bakımında da önemli bir yere sahip olan hyalüronik asit, saç derisinin nem dengesini sağlayarak kuru ve hasar görmüş saçların bakımında etkili bir rol oynar. Su tutma kapasitesi yüksek olan bu molekül, saç tellerini nemlendirerek yumuşaklık ve parlaklık kazandırır. Saç derisinin nemli ve sağlıklı olması, saç foliküllerinin optimal şekilde çalışmasına yardımcı olurken, kepek oluşumu ve tahrişi azaltarak saç dökülmesini önlemeye katkı sağlar. Isı, kimyasal işlemler ve çevresel faktörlere karşı koruyucu bir bariyer oluşturan HA, saçın elastikiyetini artırarak kırılmaları önler. Saç bakım ürünlerinde yaygın olarak şampuan, saç kremi, serum ve maskelerde kullanılan HA, bitkisel yağlar ve proteinlerle kombine edildiğinde daha güçlü bir besleyici etki sunar. Nanoteknoloji sayesinde, HA'nın saç derisi ve saç telleri üzerindeki etkisi artırılarak, daha sağlıklı ve canlı saçlara ulaşmak mümkün hale gelmektedir (Juncan ve ark. 2021, Karadağ 2024).

HA, aynı zamanda aktif bileşenlerin taşınmasını kolaylaştıran önemli bir madde olarak kabul edilmektedir. Günümüzde, farklı konsantrasyonlarda aktif bileşenler içeren HA bazlı formülasyonlar ticari olarak mevcuttur. Bu ürünler genellikle aktinik keratoz (güneşin neden olduğu cilt hasarı) ve ciltteki enflamatuvar hastalıklar gibi durumların tedavisinde kullanılmaktadır. HA'nın stratum korneum bariyerini aşarak aktif bileşenlerin daha derin cilt katmanlarına taşınmasını sağladığı kanıtlanmıştır. Bu özelliği sayesinde, HA içeren topikal preparatlar cilt tahrişini azaltmak ve yara iyileşmesini hızlandırmak için kullanılır. Genel olarak HA içeren kozmetik ürünlerin anti-enflamatuvar, cilt yenileyici ve kıkırdak koruyucu, yaşlanma karşıtı (anti-aging), bağışıklık sistemi baskılayıcı (immunosupresif) etkileri vardır.

HA, cilt yaşlanması konusunda da önemli bir rol oynar. Yaşlandıkça hücreler, HA üretme yeteneklerini kaybeder. Bu durum, cildin kurumasına, incelmesine ve elastikiyetini kaybederek kırışıklıkların oluşmasına neden olur. Cilt yaşlanması, aynı zamanda nem seviyesinin azalması ile de ilişkilidir. HA, benzersiz bir şekilde su moleküllerini bağlama ve tutma kapasitesine sahiptir. Araştırmalar, hiyalüronik asidin tüm vücutta doğal olarak bulunan bir bileşen olduğunu göstermektedir. Ortalama 70 kg ağırlığındaki bir bireyin vücudunda yaklaşık 15 gram HA bulunur ve bunun 5 gramı günlük olarak yenilenir. HA, hızlı bir şekilde parçalandığı için sürekli olarak yenilenir, ancak yaş ilerledikçe ve dış etkenlerin etkisiyle bu yenilenme süreci yavaşlar. Bu nedenle, cilt yaşlanmasının belirtilerini önlemek için erken yaşlardan itibaren optimal HA seviyesinin korunması gerekmektedir. Cilt üzerindeki biyolojik etkileri açısından bakıldığında, HA'nın cilt hücre sinyal mekanizmalarına (CD44 ve LYVE-1 reseptörlerine bağlanarak) doğrudan katıldığı ve hücre dışı matriksin stabilitesini etkilediği bilinmektedir. Ayrıca, HA'nın epidermisi yaşlanmaya karşı koruyan keratinositlerin büyümesi üzerinde olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. HA, kozmetik ürünlerde özellikle cilt elastikiyetini artırma ve göz çevresini şekillendirme amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, HA'nın içerdiği D-glukuronik asit ünitesindeki kimyasal çift bağ yapısı, ona güçlü bir antioksidan özellik kazandırmaktadır. HA ayrıca, CD44 reseptörü aracılığıyla cilt hücrelerinin çoğalmasını baskılayarak anti-enflamatuvar etki gösterebilir. HA, birçok yaşlanma karşıtı üründe kullanılmaktadır. Örneğin,

bir yaşlanma karşıtı krem içeriğinde bulunan %0,5 (w/w) düşük moleküler ağırlıklı HA (LMW-HA, 20–50 kDa) ve %3 (w/w) kapsüllenmiş yüksek moleküler ağırlıklı HA (HMW-HA, 1–1.4 MDa) kombinasyonu, 28 günlük bir kullanım sonucunda göz çevresindeki kırışıklıkların azalmasını sağlamıştır (Juncan ve ark. 2021, Karadağ).

3.HYALÜRONİK ASİDİN KLİNİK ÇALIŞMALARI

3.1.Yara iyileşmesi:

40 adet dişi sıçan üzerinde yapılan bir çalışmada, sıçanların sağ ve sol bukkal mukozalarına 10 mm uzunluğunda tam kalınlıkta mukozal kesiler yapılmıştır. Sol mukozal yaralara HA jel uygulanırken, sağ mukozal yaralar kontrol grubu olarak boş bırakılmıştır. Mukozal yaralar rezorbe olabilen süturlarla dikilmiştir. Sıçanlar takip sürelerine göre rastgele 4 gruba ayrılmıştır. 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21. günlerde sıçanlar sakrifiye edilerek histopatolojik değerlendirme yapılmıştır. Histopatolojik analizler, HA ile tedavi edilen örneklerde fibroblast proliferasyonu ve anjiyogenezin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ancak, HA uygulaması ile kontrol grubu arasında re-epitelizasyon açısından istatistiksel anlamlı farklılık tespit edilmemiştir. Sonuç olarak, ticari olarak temin edilebilen HA jelin, iyileşen oral mukoza yarasının bağ dokusu kalitesi ve anjiyogenezi üzerinde olumlu etkileri olduğu ve farklı mukozal iyileşme senaryolarında faydalı olabileceği görülmüştür. HA'nın klinik kullanım için optimum moleküler ağırlığını, uygulama yolunu ve tedavi zamanlamasını belirlemek amacıyla daha fazla çalışma yapılması önerilmektedir (Oğuz ve ark. 2023).

3.2.Osteoartrit:

HA içerikli hidrojeller, özellikle diz osteoartriti tedavisinde eklem içi enjeksiyonlarla kullanılan bir terapötik seçenektir. HA, doğal sinovyal sıvının viskoelastik özelliklerini taklit ederek eklem yükünü azaltır, ağrıyı hafifletir ve eklem fonksiyonlarını iyileştirir. Yapılan bir randomize kontrollü çalışmada, HA enjeksiyonlarının plaseboya kıyasla ağrı azaltma ve eklem fonksiyonunu iyileştirme açısından anlamlı faydalar sağladığını göstermektedir. Çalışmada hastalar genellikle 3-5 haftalık aralıklarla, toplamda 3 ila 5 enjeksiyon almıştır. Tedavi sonrası değerlendirilen parametreler arasında VAS (Görsel Analog Skala) skoru, WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoartritis Index) skoru ve hastaların genel memnuniyet düzeyleri bulunmaktadır. Çalışma sonucuna göre, tedavinin etkinliği; HA'nın moleküler ağırlığı, osteoartritin şiddeti ve formülasyon farklılıkları gibi birçok faktöre bağlıdır. HA tedavisi genellikle düşük yan etki riski taşır, ancak enjeksiyon bölgesinde hafif ağrı, şişlik veya nadir de olsa enfeksiyon gibi yan etkiler bildirilmiştir. Bu yan etkiler genellikle geçici olup, uygun enjeksiyon teknikleriyle minimize edilebilir. Tedavinin maliyet-etkinliği ve tekrarlanan enjeksiyon gereksinimi tartışma konusudur. Amerikan Romatoloji Koleji (ACR) ve Uluslararası Osteoartrit Araştırma Derneği (OARSI), sınırlı kanıtlar nedeniyle HA tedavisini temkinli bir şekilde ele almakta ve bireyselleştirilmiş yaklaşımlar önermektedir. Bununla birlikte, HA hidrojeller, yan etkileri düşük, sinovyal sıvıyı destekleyen ve uzun vadede alternatif bir ağrı yönetimi stratejisi sunan bir tedavi seçeneği olarak önemini korumaktadır. (Seçkin ve ark. 2024).

3.3.Cilt bakımı ve estetik uygulamalar:

Yapılan klinik çalışmalarda, alın ve göz çevresindeki çizgilerin derinliğini azaltmak için %10 aktif bileşen içeren y/s tipi emülsiyonun 30 gün boyunca sağlıklı kadın gönüllüler üzerinde uygulanması sonucunda kırışıklık derinliğinde %30 azalma kaydedilmiştir. Bu etkinin, heksapeptitlerin Botulinum nörotoksinlerine (BONT) benzer şekilde nörotransmitter salımını inhibe etmesiyle gerçekleştiği gösterilmiştir. Ayrıca, palmitoil oligopeptit ve palmitoil-tetrapeptit-7 bileşiminden oluşan Matrixyl™ 3000'in, ekstraselüler matrikste mikromoleküllerin sentezini aktive ederek kırışıklık oluşumunu azalttığı belirlenmiştir. Dermaxyl™ bileşeninin ise palmitoil oligopeptit ve seramit 2 kombinasyonu sayesinde yapısal olarak bozulmuş hücreleri onardığı ve cilt bariyerinin güçlenmesine yardımcı olduğu ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra, mantar kökenli proteaz türevlerinden oluşan Actimatrix™'in cilt gerginliğini sağladığı ve genel cilt görünümünü iyileştirdiği yapılan çalışmalarla desteklenmiştir. (Yapar ve Tanrıverdi 2016)

3.4.Göz hastalıkları:

Göz içi irrigasyon solüsyonlarına eklenen maddeler, cerrahi müdahaleler sırasında önemli rol oynamaktadır. Trombin bileşiklerinin retina ya da ön segment toksisitesine yol açmadığı ve kanamaları azalttığı gösterilmiştir. Heparin eklenmesinin, pediatrik katarakt cerrahisi sonrasında inflamasyonu ve fibrin formasyonunu azalttığı bulunmuştur. Antibiyotiklerin endoftalmi riskini azalttığı ancak direnç gelişimi ve toksisite risklerinin kullanımını sınırladığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda düşük konsantrasyonlarda HA eklemenin endotel korunmasını artırdığı ve göziçi manipülasyonları kolaylaştırdığı görülmüştür (Yılmaz 2022).

4.HYALÜRONİK ASİT AVANTAJLARI VE RİSKLERİ

HA, tüm canlılarda doğal olarak bulunan bir bileşendir ve biyouyumluluğu yüksektir. Parçalanabilir, viskoelastik yapıya sahip olup, higroskopik özellikleri nedeniyle güvenli kabul edilir ve genellikle ciddi yan etkilere yol açmaz.

Sitotoksisite açısından değerlendirildiğinde, HA'nın biyouyumlu olduğu ve herhangi bir sitotoksik etki göstermediği belirlenmiştir. Türler arasındaki yapısal benzerliği ve kan bileşenleriyle zayıf etkileşimi sayesinde antijenik bir etkisi bulunmaz ve immünojenik özellik göstermez. Ayrıca, yapılan araştırmalarda HA'nın mutajenik olmadığı saptanmıştır. Epidural uygulamalarda tavşanlar üzerinde yapılan çalışmalar, HA'nın nörotoksik etki göstermediğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, üreme sistemine olan etkileri araştırıldığında, insanlarda kullanılan dozun 11 kat fazlasının hayvanlara intraartiküler enjeksiyon yoluyla verilmesi sonucunda üreme fonksiyonları üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye rastlanmamıştır. HA'nın doğurganlık üzerinde ya da fetal gelişim sürecinde herhangi bir zarar verdiğine dair bulguya da rastlanmamıştır (Demir ve Kaya).

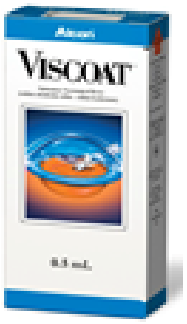
HA dolgu tedavisiyle ilişkili advers olaylar genellikle hafif, kendi kendine sınırlanır ve geri dönüşümlüdür. En yaygın komplikasyonlar enjeksiyon bölgesinde görülen reaksiyonlardır; bunlar ödem, ağrı, eritem, kaşıntı ve ekimoz gibi durumlardır. Bildirilen diğer advers olaylar arasında aşırı duyarlılık reaksiyonları, enfeksiyonlar, Tyndall etkisi, yüzey düzensizlikleri ve nodüller yer almaktadır. Damar tıkanıklığına bağlı olarak ortaya çıkan daha ciddi komplikasyonlar ise körlük ve cilt nekrozu gibi sonuçlara yol açabilmektedir. (Arslan 2021).

HA uygulaması sırasında görülen yan etkiler erken ve geç dönem olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Erken dönemde en sık görülen yan etkiler arasında eritem (kızarıklık), ödem ve ağrı yer almaktadır. Ağrının önlenmesi amacıyla topikal anestezikler kullanılabilse de, bu maddelerin kontakt reaksiyona sebep olabileceği dikkate alınmalıdır. Uzun vadeli yan etkiler arasında, uygulamadan birkaç hafta veya ay sonra ortaya çıkabilen gecikmiş hipersensitivite reaksiyonları ve birkaç ay ila birkaç yıl içerisinde gelişebilecek enflamatuvar granülomlar bulunmaktadır. Bu tür komplikasyonların tedavisinde en yaygın kullanılan ajanlar intralezyonel steroitlerdir. Ancak nadiren cerrahi nodül eksizyonuna ihtiyaç duyulabilmektedir. Hayvansal olmayan HA'nın kullanım endikasyonları, sığır kollajeninki ile benzerdir. HA, kollajen gibi fotoyaşlanmış ciltteki çizgilerin tedavisinde, dudak hacmini artırmada ve özellikle yüzdeki atrofik skarların düzeltilmesinde kullanılmaktadır. Ancak, bu iki madde arasındaki en büyük fark yan etki sıklığıdır. Kollajen uygulamaları sonrasında yan etkiler %3-5 oranında görülürken, HA ile ilişkili yan etkiler genellikle bireysel vakalar şeklinde rapor edilmiştir. Öte yandan, kollajen tedavisi öncesinde yapılan deri testleri sonucunda herhangi bir reaksiyon gelişmeyen bireylerin %1-4'ünde bile yan etkiler gözlenebilir. Bu nedenle, son yıllarda yapılan çalışmalar, HA için de işlem öncesinde test yapılmasının önemini vurgulamaktadır. Lowe ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bir çalışmada, HA uygulaması sonrası deri reaksiyonu gelişen hastalara test yapılmış ve 0.1 ml dolgu maddesi önkola intradermal olarak enjekte edildikten 5-7 hafta sonra hafif inflamatuar nodüllerden abse oluşumuna kadar değişebilen geç tip reaksiyonlar tespit edilmiştir. Duranti ve ekibinin gerçekleştirdiği bir çalışmada, HA uygulanan 158 hastanın %12-13'ünde, eritem, ödem ve lokal hassasiyet gibi erken dönem reaksiyonların ortaya çıktığı ve bu etkilerin genellikle 1-3 gün içinde gerilediği bildirilmiştir. Benzer şekilde, Kavouni ve arkadaşları ikinci kez perioral HA enjeksiyonu yapılan bir hastada, enjeksiyon bölgesinde 3 gün sonra eritemli şişlik ve nodüllerin geliştiğini gözlemlemişlerdir. Bu durum, araştırmacılar tarafından antihiyalüronik asit antikorlarının varlığına bağlanmıştır. Glabellar bölgeye HA enjeksiyonu yapıldıktan sonra sol dorsal nazal arter embolizasyonuna bağlı ülser gelişimi de rapor edilmiştir. Ancak, ülser oluşumu spesifik olarak HA'ya bağlanmamış, bu bölgeye uygulanan tüm dolgu maddeleri için benzer bir risk taşıdığı belirtilmiştir. HA ile ilişkili geç tip hipersensitivite reaksiyonları ve abse benzeri uzun süreli komplikasyonlar da literatürde bireysel olgu sunumları şeklinde bildirilmiştir (Öztaş ve Çalıkoğlu 2003).

5.HYALÜRONİK ASİT İÇEREN MÜSTAHZARLAR

a) Oftalmik Müstahzarlar:

Viscoat®, Healon®, Provisc®: Katarakt cerrahisinde kullanılan viskoşirürjik cihazlardır. HA, göz içi dokuların korunmasında, göz içi hacminin stabilizasyonunda ve cerrahi sırasında lens implantasyonuna yardımcı olmak için kullanılır.



b) Dermatolojik ve estetik

Restylane®, Juvederm®, Teosyal®, Belotero®: HA bazlı dermal dolgulardır. Cilt hacmini artırmak, kırışıklıkları gidermek ve dudak dolgusu gibi estetik amaçlarla kullanılır.



c) Eklem içi enjeksiyonlar

Synvisc®, Ostenil®, Hyalgan®, Durolane®: Osteoartrit tedavisinde eklem sıvısının viskoelastik özelliklerini iyileştirmek ve ağrıyı azaltmak için diz eklemine enjeksiyon şeklinde uygulanır.



d) Topikal ürünler ve serumlar

a Roche-Posay Hyalu B5, The Ordinary Hyaluronic Acid 2% + B5, Neutrogena Hydro Boost®: Cilt nemlendirici etkisi için kullanılan topikal HA ürünleridir. Epidermiste su tutulmasına yardımcı olur.



e) Yara iyileştirici ürünler

Bionect®, Hyalofill®, Connettivina®: Yara iyileşmesini hızlandırmak, nemli bir yara ortamı sağlamak ve dokuların yeniden yapılanmasını desteklemek için kullanılan HA içeren topikal jeller veya yara örtüleridir.



6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

HA, biyouyumluluğu, yüksek su bağlama kapasitesi ve hücresel süreçleri düzenleyebilme yeteneği sayesinde günümüzde olduğu gibi gelecekte de tıp ve kozmetolojinin merkezinde yer almaya devam edecektir. Moleküler mühendislik, nanoteknoloji ve biyoteknolojik üretim tekniklerindeki ilerlemeler, HA'nın daha hedefe yönelik, uzun etkili ve kişiye özel tedavilerde kullanılmasını mümkün kılacaktır. Özellikle rejeneratif tıp, doku mühendisliği ve ilaç taşıyıcı sistemlerde HA'nın işlevi genişleyerek, yara onarımı, kıkırdak yenilenmesi ve yaşlanma karşıtı tedavilerde daha etkili sonuçlar sunması beklenmektedir. Kozmetik alanda ise farklı moleküler ağırlıklara sahip HA fraksiyonlarının kombine kullanımıyla cilt bariyerini güçlendiren, yaşlanma sürecini yavaşlatan ve biyolojik onarımı artıran yeni nesil formülasyonların geliştirilmesi öngörülmektedir. Tüm bu gelişmeler, HA’nın geleceğin terapötik ve estetik uygulamalarında daha stratejik ve yenilikçi bir bileşen olarak önemini artıracağını göstermektedir.

.

KAYNAKÇA

1. Demirdögen, B. (2012). *Kıkırdak Doku Onarımı İçin Hiyalüronik Asit Temelli Yapı İskeletlerinin Geliştirilmesi ve Hücre Kültürlerinde Kullanımı* (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
2. Necas, J., Bartosikova, L., Brauner, P., & Kolar, J. (2008). Hyaluronic acid (hyaluronan): a review. Veterinarni Medicina, 53(8), 397–411.
3. Mimiroğlu, D. (2015). *Mikrobiyal Hyaluronik Asit Üretimi ve Saflaştırılması* (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara.
4. Abdel-Rahman, R. M., & Abdel-Mohsen, A. M. (2023). Marine Biomaterials: Hyaluronan. Marine Drugs, 21(8), 426.
5. Dıraçoğlu, D. (2007). Osteoartritte İntraartiküler Hyalüronik Asit Tedavisi. Türk Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi, 53, 154-159.
6.Marinho, A., Nunes, C., & Reis, S. (2021). Hyaluronic Acid: A Key Ingredient in the Therapy of Inflammation. Biomolecules, 11(1518).
7.Akbelen Kaya, Ö., & Muğlalı, M. (2016). Hyaluronik Asit Hidrojellerinin Oral Cerrahide Doku Rejenerasyonunda Kullanımı: Derleme. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 26(2), 377–381.
8. Tırnaksız, F., & Kaymak, Y. (2008). Hyalüronik Asit. Turkiye Klinikleri Journal of Dermatology, 18, 9–16.
9.Juncan, A. M., Mois, D. G., Santini, A., Morgovan, C., Rus, L.-L., Vonica-Țincu, A. L., & Loghin, F. (2021). Advantages of Hyaluronic Acid and Its Combination with Other Bioactive Ingredients in Cosmeceuticals. Molecules, 26(15), 4429
10. Karadağ, M. (2024, Aralık). Hyaluronik Asitin Kozmetik ve Sağlıkta Kullanımı
11. Oğuz, Y., Diker, N., Gülsever, S., & Yılmaz Akçay, E. (2023). Oral Mukozanın İnsizyonel Yara İyileşmesinde Hyaluronik Asit Jel Uygulamasının Etkileri: Deneysel Çalışma. Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi, 29(2), 225–233
12. Seçkin, U. D., Germiyan, Ö. S., & Uyanıkgil, Y. (2024). Osteoartritte Eklem İçi Hyaluronik Asit Enjeksiyonlarının Güvenliği: Sistematik Bir Gözden Geçirme ve Klinik Kullanımlarının Değerlendirmesi. Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 50(1), 113–119
13. Yapar, E. A., & Tanrıverdi, S. T. (2016). Yaşlanma Karşıtı Kozmetik Yaklaşımlar ve Ürün Bileşenleri. Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi, 5(2), 99–102
14. Yılmaz, A. (2022). Bilgi Toplumu ve Dijitalleşme Sürecinde Eğitim Politikaları. İstanbul: Eğitim ve Teknoloji Yayınları.
15. Demir, S., & Kaya, M. (2023). Türkiye'de Eğitim Sisteminde Dijital Dönüşüm: Fırsatlar ve Zorluklar. Ankara: Akademik Araştırmalar Enstitüsü Yayınları.
16. Arslan, B. (2021). Eğitimde Yapay Zeka Kullanımı ve Geleceği Üzerine Bir Değerlendirme. İzmir: Yeni Ufuklar Yayıncılık.
17. Öztas P, Çalıkoğlu E. Hyaluronik Asit Preparatları. T Klin Kozmetoloji. 2003;4:36-39.

YENİ NESİL DİZİLEMENİN NADİR HASTALIKLARDAKİ ROLÜ

Dilara YILDIRIM

Biruni Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 34015 Zeytinburnu İstanbul

dilsaray@outlook.com **ORCID:** 0009-0005-2901-6641

Sinem DÖNMEZ

Biruni Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 34015 Zeytinburnu İstanbul

donmezzsinem3@gmail.com ORCID: 0009-0005-7020-5639

Zeynep Azra ER

Biruni Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 34015 Zeytinburnu İstanbul

azraerr34@gmail.com ORCID: 0009-0007-7885-3475

Dr. Öğr. Üyesi Nermin AKÇALI

Biruni Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 34015 Zeytinburnu İstanbul

nakcali@biruni.edu.tr ORCID**:** 0000-0001-6816-9687

ÖZET

Dünya nüfusunun yaklaşık %6-8'ini etkileyen nadir hastalıklar; mitokondriyal, kromozomal kökenli olabilen ya da genetik temeli bilinen veya henüz aydınlatılmamış monogenik bozuklukları kapsamaktadır. Küresel ölçekte tanımlanmış 6000 ila 8000 farklı nadir hastalık bulunmakta olup, her yıl bu listeye yaklaşık 3-4 yeni hastalık eklenmektedir. Büyük çoğunluğu (%80) genetik kaynaklı olan bu hastalıklarda kesin tanı süreci ortalama beş yılı bulabilmektedir. Geleneksel tanı yöntemlerinin yetersiz kaldığı bu tabloda, Yeni Nesil Dizileme (NGS) teknolojileri, nadir hastalıkların tanısında kullanılmaya başlanmasıyla birlikte genetik testlere yönelik bakış açısını kökten değiştirmiştir. Tek bir yöntemden ziyade Sanger sonrası geliştirilen çeşitli ileri teknolojileri ifade eden NGS; DNA'nın enzimatik olarak parçalanması, kütüphanelerin oluşturulması ve milyonlarca DNA fragmanının eş zamanlı ve paralel olarak dizilenmesi prensibine dayanır. 3.2 milyar baz çiftlik insan genomunu bir gün içinde analiz edebilme kapasitesine sahip olan bu teknoloji, sadece yer değiştirmeleri veya küçük insersiyon/delesyonları saptayabilen Sanger yönteminin aksine, ek testlere gerek duymadan tüm varyasyonları tek bir deneyde tespit edebilmektedir. Tüm Ekzom (WES) ve Tüm Genom Dizileme (WGS) gibi stratejiler sayesinde binlerce gen, hastalığın klinik tablosuna göre yönlendirilerek daha kısa sürede ve düşük maliyetle analiz edilebilmektedir. Bu teknoloji, yalnızca Nörogelişimsel Bozukluklar (NDD) değil, aynı zamanda Otizm Spektrum Bozukluğu (ASD) ve Zihinsel Engellilik (ZD) gibi karmaşık hastalıkların genetik altyapısını aydınlatmada

devrim niteliğinde ilerlemeler sağlamıştır. Geçmişte genetik incelemeler sadece tanı koyma ve üreme danışmanlığı ile sınırlı kalırken; günümüzde elde edilen doğru moleküler tanılar, tedavi ve bakım süreçlerinin bireyin genetiğine göre uyarlandığı hassas tıbbın temelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, NGS'nin ürettiği devasa veri boyutu (Big Data) önemli bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, bu teknolojinin alt birimlerinin çeşitliliği alanın hızlı gelişimini gösterse de, klinisyenler için doğru yöntemi seçme noktasında zorluklar yaratabilmektedir. Hastalığa neden olan genlerin ailesel geçiş gösterebileceği gibi bireyde ilk kez (de novo) ortaya çıkması da muhtemeldir; bu nedenle yeni varyantların doğru tanımlanması, en uygun terapötik yaklaşımın belirlenmesi açısından hayati önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeni Nesil Dizileme, Nadir Hastalıklar, Genetik Tanı, Hassas Tıp.

1. GİRİŞ

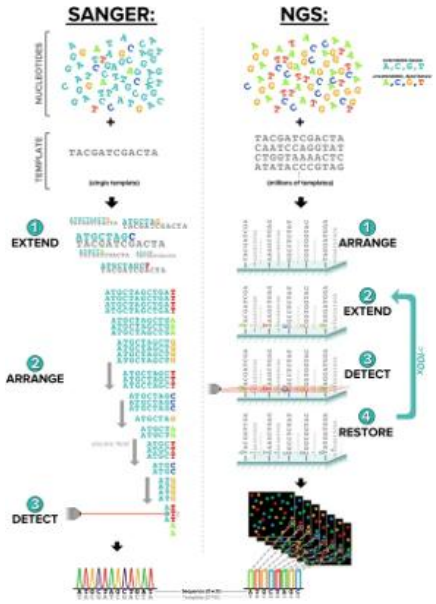
1.1. NADİR HASTALIKLAR VE TANI SÜRECİ

Nadir hastalıklar, diğer hastalıklara kıyasla görülme sıklığı düşük olan, dünya nüfusunun yaklaşık %6-8'inin sahip olduğu hastalıklardır. (1) Dünya çapında 6000-8000 arasında nadir hastalık çeşidi bulunmaktadır ve her sene yeni araştırmalar ile birlikte bu listeye 3-4 yeni hastalık eklenmektedir (2). Nadir hastalıkların %20'si bulaşıcı hastalıklar, otoimmün hastalıklar ve nadir kanserler gibi hastalıklardan oluşmakta iken %80'i genetik mutasyonlar ve kalıtım kökenlidir. (3) Genetik kökenli hastalığa sahip bireylerin, bu özellikteki genleri ailelerinden alabilmelerinin yanı sıra ilk patojenik mutasyonun aile bir tek kendilerinde görülmesi de muhtemeldir. Bu yeni varyantların tanımlanması, terapötik yöntemi belirlemek adına çok önemlidir.(4) Hastalık şüphesi bulunan bir kişinin kliniğe başvurmasından kesin tanı almasına kadar geçen süre, klinik belirsizlikler ve hastalığın bilinirlik durumu göz önünde bulundurulduğunda ortalama 5 yılı bulmaktadır.(3). Bu uzun süren tanı sürecinin yarattığı zorlukların yanında çok az türde nadir hastalığın onaylanmış tedavisi bulunup %95'in ise kesin tedavisi henüz bulunmamaktadır (3,5). Bu faktörler, nadir hastalılardaki tedaviye ulaşım oranının düşük, ölüm oranlarının ise yüksek olmasına sebebiyet vermektedir.

1.2. TANI SÜRECİ VE DİZİLEME TEKNOLOJİLERİ

Genetik sorunlar kaynaklı nadir hastalıklara delesyon, insersiyon, duplikasyon gibi gen mutasyonları ve bu mutasyonun kalıtılması sebep olmaktadır (6). Mutasyonlar bireyin ailesinde bulunup kalıtsal olarak aktarılmış olma ihtimalinin yanında ilk mutasyonun bireyde görülmesi de muhtemel olduğundan nadir hastalık tanısının koyulması için hastanın genetik dizisinin analiz edilmesi ve mutasyonun nerede olduğunun tespit edilmesi gerekmektedir (4). Geçmiş yıllarda gen dizileme için sadece Sanger dizileme kullanılmaktaydı. Ancak Sanger dizilemede tek seferde sadece bir gen dizisi sıralanabilmektedir (7). Bu durumda hastanın tanı alma sürecinde doktorun fiziki muayenesi ve hasta öyküsünü dinlemesinin ardından olası bir hastalık için öncelikli olarak bir tahminde bulunulup bu hastalığa sebep olan gen bölgesi için Sanger dizileme yapılırdı. Ancak bir hastalığın ortaya çıkması için bilinen spesifik tek bir nükleotiddeki mutasyonun gerçekleşmiş olması gerekmez. Fenotiple ilişkili gen bölgesi içerisinde bulunan herhangi bir nükleotiddeki mutasyon da aynı hastalığın oluşmasına sebebiyet verebilmektedir.

Bu durumda doktorun tahminde bulunduğu yerde mutasyon bulunmayıp farklı bir yerde bulunma ihtimali ortaya çıkar. Mutasyon analiz sonucunun negatif olması durumunda pozitif mutasyon sonucu bulunana kadar farklı bölgelerde Sanger dizileme yapılması gerekmektedir. Ancak bu sürecin yüksek maliyetli ve uzun sürüyor olması, bilim insanlarını Sanger dizilemenin yerine geçebilecek yeni dizileme teknolojileri arayışa yönlendirdi ve araştırmalar sonucunda "Yeni Nesil Dizileme" keşfedildi (7,8).



Görsel 1. Örnekleri tek tek işleyen Sanger yöntemi ile milyonlarca DNA parçasını aynı anda analiz eden NGS teknolojisi arasındaki farkı göstermektedir. Muzzey, D., Evans, E. A., & Lieber, C. (2015). Understanding the basics of NGS: from mechanism to variant calling. Current genetic medicine reports, 3(4), 158-165.

1.3. YENİ NESİL DİZİLEME (NGS) TEKNOLOJİLERİ

NGS, Sanger dizilemenin keşfi sonrası geliştirilen sentez temelli dizileme, ligasyon yoluyla dizileme ve iyon yarı iletken dizileme gibi yöntemleri bir arada barındıran, biyoinformatik araçları bu yöntemler ile birlikte kullanan bir dizileme teknolojisidir (9,10). Güçlü ve büyük kapasiteli bu teknoloji, bahsedilen yöntemlerin birlikte kullanılması ile mutasyonları kolaylıkla tespit etme ve 3.2 milyar baz çiftinden oluşan insan genomunu kısa bir süre içerisinde dizileme imkanı sunmaktadır (6).

Yeni nesil dizileme, genel anlamda DNA'nın enzimatik reaksiyonlarla kesilerek çok sayıda DNA parçası elde etmeye, bu eldeler ile bir kütüphane oluşturmaya ve milyonlarca küçük DNA fragmentinin eş zamanlı olarak paralel sekanslama ile çoğaltılmasına dayanır (11). Tıpkı Sanger'deki gibi tek zincirli hale getirilen DNA, primerler ve DNA polimeraz kullanılıp sentez yapılarak dizinin belirlenmesi sağlanırken Sanger'den farklı olarak ise dizinin sentezi durdurularak değil sentez süresince belirleme yapılır (6).

Yeni nesil dizileme prensibinde, seçilen ve tek zincir hale getirilen DNA ipliğinin bulunduğu ortama spesifik işaretlenmiş dNTP'ler eklenir. Bu dNTP'ler her nükleotid türünün zincire

bağlanmasında farklı şiddette ışıma yapacak şekilde floresan boyalar ile bağlanır.(7) NGS, biyoinformatik sistemlere bağlı bir teknolojidir. Bu sayede dNTP bağlanmalarında ortaya çıkan sinyaller, bilgisayar aracılığı ile kaydedilir.(12) Elde edilen veriler, Ion Torrent, Illumina ve ABI SOLİD gibi yüksek kapasiteli platformlarda işlenmekte ve saklanmaktadır. DNA üzerinde bulunan nükleotid dizilimi ve bulunuyorsa dizideki mutasyonlar bu sayede tespit edilmiş olur. (20)

NGS, hızlı, yüksek kapasiteli ve daha düşük maliyetli yöntemler sunarak genetik hastalıkların tanısında önemli bir dönüşüm sağlamıştır. Bu teknoloji, birkaç genden yüzlerce gene, tüm ekzoma ve hatta tüm genoma kadar aynı anda analiz yapabilmektedir. Bu özellik, nadir hastalıkların genetik çeşitliliğini anlamada önemli bir ilerleme sağlamış ve klinik hipotezin ötesinde gen araştırmalarına imkân tanımıştır (13).

Bu noktada, yüksek verimlilik sunan hedefli NGS yaklaşımları, özellikle amplikon temelli zenginleştirme stratejileriyle entegre edildiğinde, belirli genomik bölgelerin paralel olarak dizilenmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Kısa amplikon tasarımlarına olanak tanıması sayesinde, formalinle fikse edilmiş parafine gömülü (FFPE) örneklerden dahi yüksek güvenilirlikte veriler elde edilebilmekte; maliyet-etkinliği açısından ise tüm genom dizileme gibi daha geniş kapsamlı yöntemlere (SGS) kıyasla daha sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (14). Güncel uygulamalarda MiSeq, Ion Proton ve HeliScope gibi platformlar bu hedefli analizler için yaygın olarak tercih edilmektedir (10, 15).

Nadir hastalıkların tanısında NGS teknolojisi, popülasyona özgü gen panelleri tasarlamak veya tüm ekzom dizilemesi yapmak yoluyla kullanılabilir. Bu yaklaşımlar, tanı süresini kısaltmakla kalmaz, aynı zamanda hastaya uygun tedavi seçeneklerinin belirlenmesine de yardımcı olur (16). NGS, analitik doğruluğu, yüksek verimliliği ve uygun maliyeti sayesinde, özellikle kalıtsal nadir hastalıklar ve ailevi kanseri olan hastalarda moleküler tanı sağlamada önemli bir rol oynamaktadır (21).

Genetik heterojenitenin yüksek olduğu hastalıklara verilebilecek örneklerden biri, yüz dismorfizmi, boy kısalığı ve konjenital kalp defektleri ile karakterize Noonan Sendromu'dur (17). RAS-MAPK yolağındaki bozukluklardan kaynaklanan 'RASopatiler' grubundaki bu sendromda, PTPN11 veya SOS1 gibi farklı gen mutasyonları klinik olarak ayırt edilemeyen benzer fenotipler sergiler (18). Bu tablolarda, geleneksel yöntemlerin gerektirdiği maliyetli ve uzun süreli ardışık analizler yerine, çoklu gen analizi sağlayan NGS panelleri tanı sürecini hızlandıran etkin bir çözüm sunmaktadır (19).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu derleme çalışmasında, Yeni Nesil Dizileme (NGS) teknolojilerinin nadir hastalıkların tanı sürecindeki ve klinik yönetimindeki kritik rolünü, güncel literatür eşliğinde incelemeyi amaçladık. Çalışmanın iskeletini, PubMed ve Google Scholar veritabanlarında gerçekleştirilen kapsamlı literatür taraması oluşturmaktadır. Teknolojinin hızlı gelişimini ve güncelliğini göz önünde bulundurarak, inceleme kapsamını son 20 yılda literatüre kazandırılan yayınlarla sınırlandırdık.

İlgili çalışmalara en doğru şekilde ulaşabilmek adına; "Yeni Nesil Dizileme", "Tüm Ekzom Dizileme (WES)", "Tüm Genom Dizileme (WGS)" ve "Hedeflenmiş Gen Panelleri" gibi teknik terimleri; "Nadir Hastalıklar" ve "Tanısal Verim" gibi klinik kavramlarla eşleştiren bir arama stratejisi izledik.

2.1. Çalışmaların Seçimi ve Değerlendirme Süreci

Taramalar sonucu elde ettiğimiz literatür havuzunu, öncelikle başlık ve özet düzeyinde inceleyerek konu dışı yayınlardan arındırdık. Derlemeye dahil edilecek çalışmaları belirlerken önceliği; NGS yöntemlerinin tanısal başarısını, maliyet etkinliğini veya klinik karar süreçlerine etkisini irdeleyen yayınlara verdik.

Öte yandan, çalışmanın odağını korumak adına bazı sınırlamalar getirdik: Tek gen defektiyle açıklanabilen hastalıkları konu alan çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır. Benzer şekilde, NGS yerine karyotipleme veya kromozomal mikroarray gibi yöntemlerle tespit edilebilen yapısal kromozom bozuklukları da değerlendirmeye alınmamıştır.

2.2. Verilerin Sentezi

Analiz sürecinde seçilen makaleler; uygulanan dizileme stratejisi (WES, WGS veya Panel) ve incelenen hastalık grupları temel alınarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışma, nicel bir veri analizinden ziyade; mevcut kanıtların niteliksel bir sentezini sunarak, NGS teknolojisinin nadir hastalıklardaki bugünkü konumunu ve gelecekteki potansiyelini tartışmayı hedeflemektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Nadir hastalıkların doğasında var olan genetik çeşitlilik ve klinik tablonun hastadan hastaya değişmesi, geleneksel tanı yöntemlerini çoğu zaman çaresiz bırakmaktadır. Bu durum ne yazık ki hastaları, literatürde "tanısal odiseyi" (uzun tanı yolculuğu) olarak adlandırılan, yıllar süren yıpratıcı bir belirsizlik döngüsüne hapsetmektedir. Bu derlemede incelenen veriler, Yeni Nesil Dizileme (NGS) teknolojilerinin sunduğu hız ve maliyet avantajıyla bu engelleri aştığını somut bir şekilde ortaya koymaktadır. Tıbbi genetikte yaşanan bu köklü değişim, hekimleri varsayımlara dayalı "tahmini tanı" sürecinden, moleküler kanıtlara dayalı "kesin tanı" modeline taşımıştır.

Özellikle belirtilerin birbirine benzediği ve yüzlerce farklı genin hastalığa yol açabildiği karmaşık durumlarda; genleri tek tek analiz etmenin yarattığı zaman kaybı, günümüz tıbbında artık sürdürülebilir değildir. Bunun yerine, aynı anda çok sayıda geni tarayabilen NGS panelleri, tanıda en stratejik araç haline gelmiştir. Gelinen noktada, Tüm Ekzom (WES) ve Tüm Genom (WGS) analizleri sadece birer laboratuvar testi olmanın ötesine geçmiş; hastaların tanı arayışını sonlandıran ve kişiye özel "Hassas Tıp" tedavilerinin kapısını aralayan "yeni altın standart" olma yolundadır.

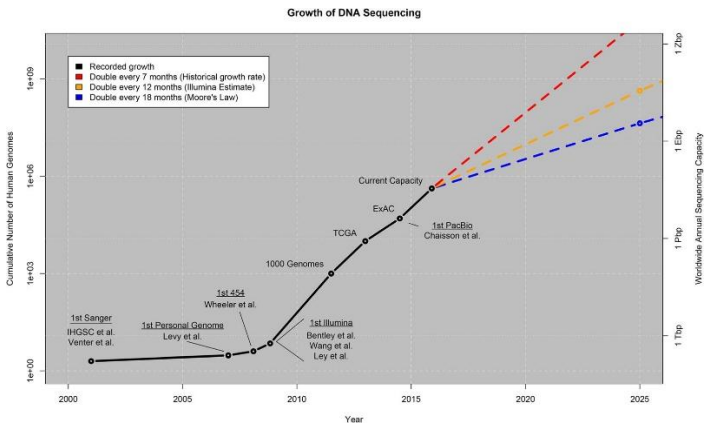
Ancak testlerin hızlanması ve ucuzlamasıyla birlikte üretilen devasa boyuttaki veriyi (Big Data) yönetmek, günümüzün en büyük teknik sınavıdır. Elde edilen bu karmaşık verilerin güvenle saklanması ve hangisinin hastalığa yol açtığının (klinik patojenite) doğru yorumlanması;

mevcut sistemlerin ötesinde, yapay zeka destekli akıllı yazılımlara ve güçlü bulut sistemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır.

Özetle NGS teknolojileri, nadir hastalıkların kökenini aydınlatmada devrim niteliğinde bir ilerleme sağlamıştır. Geleceğe yönelik beklentiler, analiz süreçlerinin daha da otomatikleşmesiyle genetik tanının çok daha hızlı, herkes için erişilebilir ve kişiselleştirilmiş bir yapıya kavuşacağı yönündedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yeni nesil dizileme teknolojilerindeki gelişmeler, dizileme maliyetlerini geçmiş yıllara oranla belirgin şekilde düşürmüş olsa da tek bir çalışmada dahi terabaytları bulan verilerin üretilmesi, ciddi depolama sorunlarını beraberinde getirmiştir (22). Elde edilen genomik verinin kalitesi, doğrudan verinin hacmi ve üretim hızıyla bağlantılı olduğundan, bu süreci yönetebilecek güçlü ve kapsamlı biyoinformatik araçların kullanılması gerekmektedir. Ancak günümüzde yaygın olarak kullanılan Illumina, ABI SOLiD ve Ion Torrent gibi standart platformların, önümüzdeki yıllarda katlanarak artacak depolama ihtiyaçlarını karşılama konusunda yetersiz kalacağı öngörülmekteyken şimdiden referans genoma hizalama zorunluluğu ve halihazırda yürütülen karmaşık hesaplama süreçlerinde yetersiz kalmaktadır (20). Mevcut teknolojideki bu teknik sınırlamalar, dizileme analiz maliyetlerinin düşmesine rağmen, ortaya çıkan devasa veri boyutunu yönetecek uygun platform maliyetlerinin artmasına yol açan çelişkili bir tablo ortaya çıkarmaktadır (23). Bu nedenle günümüzdeki biyoinformatik araştırmalar, hem uzun okuma yapabilme yeteneğine sahip olan hem de dizileme sonrası gerekli analizler için yeterli kapasiteyi uygun maliyetlerle sağlayabilecek yeni platformların geliştirilmesine yoğunlaşmış durumdadır (23). Bu arayışlar neticesinde, özellikle yapay zeka desteğiyle güçlendirilmiş, referans genoma olan bağımlılığı en aza indirecek ve karmaşık genetik varyasyonları çözebilecek kapasiteye sahip ileri düzey bulut teknolojilerinin geliştirilmesi beklenmektedir (20-24)



Görsel 2. Geçmişten günümüze Sanger ve NGS tabanlı projelerin artmasıyla, dijital ortamda kaplanan veri hacminin kümülatif yükselişi ve öngörüler Dai, L., Gao, X., Guo, Y., Xiao, J., & Zhang, Z. (2012). Bioinformatics clouds for big data manipulation. Biology direct, 7(1), 43.

Retinitis Pigmentosa (RP), Noonan Sendromu, Limb-girdle Musküler Distrofi (LGMD) ve Erken Başlangıçlı Epileptik Ensefalopatiler (EOEE) gibi genetik ve klinik çeşitliliğin son derece yoğun olduğu nadir hastalıklarda, geleneksel tek gen analizleri veya sadece semptomatik yaklaşımlar günümüz klinik gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır (25). Literatür verilerinin analizi, NGS teknolojilerinin artık laboratuvar düzeyinden çıkıp klinik karar mekanizmalarının merkezine yerleştiğini ortaya koymaktadır. Bu teknolojik ilerleme, tanı sürecini pasif bir dışarıda bırakma yönteminden çıkararak; tedavi stratejilerini ve hasta takibini doğrudan belirleyen, somut kanıtlara dayalı ve dinamik bir yönetim modeline evrilmesini sağlamıştır.

Klinik bulguların örtüştüğü ve ayırıcı tanının zorlaştığı karmaşık olgularda, hedeflenmiş gen panelleri maliyet ve verimlilik açısından en doğru yaklaşımı sunmaktadır. Yapılan bu literatür araştırmasında da, hastalığa spesifik bu panellerin yüksek tanısal başarısını tutarlı verilerle desteklemektedir. Huang ve arkadaşları, 80'den fazla genin etken olduğu Retinitis Pigmentosa (RP) grubunda %64.6'lık bir moleküler tanı oranına ulaşırken; benzer bir tablo nöromüsküler hastalıklarda da gözlemlenmektedir (26). Sarıkaya ve ekibinin çalışması da klinik heterojenitenin yüksek olduğu Limb-girdle Musküler Distrofi (LGMD) şüpheli vakalarda panellerin %61.1 oranında kesin tanı sağladığını ve erken teşhis sürecine kritik katkı sunduğunu göstermektedir (27).

Ancak bu istatistiksel verilerin ötesinde, çalışmanın asıl klinik değeri, genetik sonuçların hekimin tanısını doğrulama veya düzeltme gücünde yatmaktadır. Huang, moleküler bulguların başlangıçtaki klinik izlenimi değiştirerek tanının yeniden şekillendirilmesini (tersine fenotipleme) sağladığını çarpıcı biçimde ortaya koymuştur (26). Benzer bir "sağlama" mekanizması, Lepri ve ekibinin Noonan Sendromu serisinde de dikkat çekmektedir. Panellerin sunduğu %100'lük analitik duyarlılık, özellikle silik semptomlarla seyreden veya atipik vakaların gözden kaçmasını engelleyerek; NGS'in klinikte tanısal hataları minimize eden bir tür "kalite kontrol mekanizması" olarak işlev gördüğünü göstermiştir (19).

Hedeflenmiş panellerin başarısı, akraba evliliği olmayan ailelerde %55.5 gibi yüksek bir seviyedeyken; akraba evliliği olan grupta bu oran %16.6'ya kadar düşmektedir (28).

Paneller, özellikle *de novo* gelişen ve sık karşılaşılan bilinen "kanalopatileri" (somatik hücrelerin zarlarında bulunan iyon kanallarının bozulması veya hatalı çalışması sonucu ortaya çıkan hastalıklar grubudur) tespit etmede son derece yetkin olsa da, panel içeriğinde yer almayan nadir genleri veya yeni tanımlanan varyantları yakalamada sınırlı kalmaktadır. Bu bağlamda, standart panellerle sonuç alınamayan, atipik seyirli veya klinik tablonun belirsiz olduğu kriptojenik olgularda Tüm Ekzom Dizileme (WES), tanısal kördüğümü aşmak için başvurulması gereken en akılcı ve stratejik yöntemdir (29).

Teknolojinin sunduğu tüm ilerlemelere rağmen, "eksik kalıtım" olgusu klinisyenler için halen aşılması gereken ciddi bir engeldir. Sather ve arkadaşlarının RP kohortunda vakaların yaklaşık yarısının (%52.8 başarı oranı) moleküler düzeyde aydınlatılamamış olması, genetik patolojinin standart tarama yöntemlerinin ötesinde, genomun daha derin katmanlarında gizlendiğini düşündürmektedir (30). Panellerin veya ekzom dizilemenin kapsama alanı dışında kalan derin intronik bölgeler ve kopya sayısı değişimleri (CNV), bu bilinmezliğin temel kaynağıdır.

Dolayısıyla, genomun kodlamayan alanlarını da görünür kılabilmek adına Tüm Genom Dizileme (WGS), aydınlatılamayan klinik bilmecelerin çözümünde kaçınılmaz bir sonraki durak niteliğindedir.

Mevcut literatür bir bütün olarak değerlendirildiğinde, moleküler düzeyde konulan bir tanının asıl değeri, laboratuvar raporundaki kuru teknik verilerin ötesine geçerek, klinisyene somut ve yönetilebilir bir eylem planı sunabilmesidir. Lepri'nin Noonan olgularında gizli kardiyak riskleri öngörülebilir hale getirmesi ve epilepsi yönetiminin ampirik "deneme-yanılma" sürecinden sıyrılarak mekanizmaya özgü tedavilere yönelmesi, bu teknolojinin kliniğe sağladığı katkıyı tartışmasız bir gerçekliğe dönüştürmektedir. Sather'in de isabetle belirttiği gibi; elde edilen kesin tanı, hasta için sadece tıbbi bir sınıflandırma aracı değil; doğru genetik danışmanlığa ve geleceğin tedavi potansiyeline erişimi mümkün kılan kritik bir anahtardır. Bu bağlamda, genotip-fenotip korelasyonunun güçleştiği vakalarda; uzun süren tanısal arayışları (tanısal odiseyi) sonlandırmak ve moleküler kökene dayalı hassas tedavi stratejileri geliştirmek için, tüm aday genleri kapsayan NGS panellerine başvurmak artık klinik bir gerekliliktir. Özünde bu teknolojik dönüşüm, nadir hastalık yönetimini semptomları hafifletmeye odaklı pasif bir yaklaşım olmaktan çıkarıp; doğrudan hastalığın temeline inen, kanıta dayalı ve çözüm odaklı çağdaş bir tıp pratiğine evrilmesini sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1- Auvin, S., Irwin, J., Abi-Aad, P., & Battersby, A. (2018). The problem of rarity: Estimation of prevalence in rare disease. Value in Health, 21(5), 501–507.
2- Derneği, A. N. H. NADİR HASTALIKLAR GÜNÜ 28 ŞUBAT 2022.
3- Yıldırım, M., & Keskin, H. (2025). Nadir Hastalıklarda Tedaviye Erişim: Mevcut Durum, Engeller ve Çözüm Önerileri. Sağlık Bilimlerinde Değer, 15(3), 509-514.
4- Rabbani, B., Tekin, M., & Mahdieh, N. (2014). The promise of whole-exome sequencing in medical genetics. Journal of Human Genetics, 59(1), 5–15.
5- Boat, T. F., & Field, M. J. (Eds.). (2011). Rare diseases and orphan products: Accelerating research and development. National Academies Press.
6- Doğan, M., Eröz, R., Yüce, H., & Özmerdivenli, R. (2017). Yeni Nesil Dizileme (YND) hakkında bilinenler (literatür taraması). Duzce Medical Journal, 19(1), 27–30.
7- Metzker, M. L. (2010). Sequencing technologies—the next generation. Nature Reviews Genetics, 11(1), 31–46.
8- McClellan, J., & King, M. C. (2010). Genetic heterogeneity in human disease. Cell, 141(2), 210–217.
9- Shendure, J., Porreca, G. J., Reppas, N. B., Lin, X., McCutcheon, J. P., Rosenbaum, A. M., ... & Church, G. M. (2005). Accurate multiplex polony sequencing of an evolved bacterial genome. Science, 309(5741), 1728–1732.
10- Rothberg, J. M., Hinz, W., Rearick, T. M., Schultz, J., Mileski, W., Davey, M., ... & Bustillo, J. (2011). An integrated semiconductor device enabling non-optical genome sequencing. Nature, 475(7356), 348–352.
11- Behjati, S., & Tarpey, P. S. (2013). What is next generation sequencing?. Archives of Disease in Childhood-Education and Practice, 98(6), 236–238.
12- Darcan, C., & Türkyılmaz, O. (2018). Yeni nesil dizileme teknolojisine genel bakış. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(1), 41–49.
13- Rasheed, M. (2020). Next generation sequencing as an emerging technology in rare disease genetics. Journal of Islamabad Medical & Dental College, 9(1), 1–3.
14- Walsh, T., Casadei, S., Lee, M. K., Pennil, C. C., Nord, A. S., Thornton, A. M., ... & King, M. C. (2011). Mutations in 12 genes for inherited ovarian, fallopian tube, and peritoneal carcinoma identified by massively parallel sequencing. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(44), 18032–18037.
15- Voelkerding, K. V., Dames, S. A., & Durtschi, J. D. (2009). Next-generation sequencing: From basic research to diagnostics. Clinical Chemistry, 55(4), 641–658.
16- Couce, M. L., & González-Vioque, E. (2022). NGS technologies of rare diseases diagnosis. Frontiers in Pediatrics, 10, 1032359.
17- Allanson, J. E., & Roberts, A. E. (2021). Noonan syndrome. *Cassidy and Allanson's Management of Genetic Syndromes*, 651-669.
18- Lee, B. H., Kim, J. M., Jin, H. Y., Kim, G. H., Choi, J. H., & Yoo, H. W. (2011). Spectrum of mutations in Noonan syndrome and their correlation with phenotypes. The Journal of Pediatrics, 159(6), 1029–1035.
19- Lepri, F. R., Scavelli, R., Digilio, M. C., Gnazzo, M., Grotta, S., Dentici, M. L., ... & Dallapiccola, B. (2014). Diagnosis of Noonan syndrome and related disorders using target next generation sequencing. BMC Medical Genetics, 15(1), 14.
20- Karabudak, S., & Akkuş, M. S. (2022). Yeni nesil dizileme verilerinin analizinde bulut teknolojisi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(1), 1–10.

21- Jamuar, S. S., & Tan, E. C. (2015). Clinical application of next-generation sequencing for rare diseases. Human Genomics, 9(1), 1–9.
22- 23. Schmidt, B., & Hildebrandt, A. (2017). Next-generation sequencing: big data meets high performance computing. Drug discovery today, 22(4), 712-717.
23- Dai, L., Gao, X., Guo, Y., Xiao, J., & Zhang, Z. (2012). Bioinformatics clouds for big data manipulation. Biology direct, 7(1), 43.
24- Eraslan, G., Avsec, Ž., Gagneur, J., & Theis, F. J. (2019). Deep learning: new computational modelling techniques for genomics. Nature reviews genetics, 20(7), 389-403
25- Guerrini, R. (2006). Epilepsy in children. The Lancet, 367(9509), 499–524.
26- Huang, H., Chen, Y., Chen, H., Ma, Y., Chiang, P. W., Zhong, J., ... & Yi, X. (2018). Systematic evaluation of a targeted gene capture sequencing panel for molecular diagnosis of retinitis pigmentosa. *PLoS One*, *13*(4), e0185237.
27- Sarıkaya Uzan, G., Yılmaz Uzman, C., Çinleti, T., Günay, Ç., Ülgenalp, A., Hiz Kurul, S., & Yiş, U. (2024). Molecular diagnosis of limb-girdle muscular dystrophy using next-generation sequencing panels. Molecular Syndromology, 15(1), 14-21.
28- Gokben, S., Onay, H., Yilmaz, S., Atik, T., Serdaroglu, G., Tekin, H., & Ozkinay, F. (2017). Targeted next generation sequencing: the diagnostic value in early-onset epileptic encephalopathy. Acta Neurologica Belgica, 117(1), 131-138.
29- Salinas, V., Martínez, N., Maturo, J. P., Rodriguez-Quiroga, S. A., Zavala, L., Medina, N., ... & Vega, P. (2021). Clinical next generation sequencing in developmental and epileptic encephalopathies: diagnostic relevance of data re-analysis and variants re-interpretation. European Journal of Medical Genetics, 64(12), 104363.
30- Sather III, R., Ihinger, J., Simmons, M., Khundkar, T., Lobo, G. P., & Montezuma, S. R. (2023). Clinical characteristics and genetic variants of a large cohort of patients with retinitis pigmentosa using multimodal imaging and next generation sequencing. *International journal of molecular sciences*, *24*(13), 10895.

PID KONTROLLÜ CERRAHİ ROBOTLARDA HATA PAYININ AZALTILMASI

HİLAL SEVGİLİ
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
hilalsevgili77@gmail.com 0009-0002-8116-501

GÖKDENİZ KILIÇ
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
gkdnzklc@gmail.com 0009-0003-0427-4105

ÖZET

Cerrahi robotlar, minimal invaziv operasyonlarda hassasiyet, güvenlik ve tekrarlanabilirlik sağlayarak modern tıpta önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerin başarısı, kullanılan kontrol algoritmalarının doğruluğu ile doğrudan ilişkilidir. PID (Proportional–Integral–Derivative) kontrol, basit yapısı, esnekliği ve güvenilirliği nedeniyle cerrahi robotlarda en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Cerrahi robotlarda hata kaynakları sensör çözünürlüğü, ölçüm parazitleri, geri besleme gecikmeleri, mekanik titreşimler ve dış bozucular olabilir. Bu sorunların azaltılması için adaptif PID algoritmaları, model tabanlı ileri besleme kontrol yöntemleri, kuvvet–konum hibrit kontrolü, türevsel filtreleme teknikleri ve gecikme telafisi kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bu yöntemlerin hata payını sub-milimetre seviyelerine kadar düşürdüğünü göstermektedir. Bu durum operasyon sırasında doku hasarını azaltmakta, cerrahi doğruluğu artırmakta ve hasta güvenliğini güçlendirmektedir. Ayrıca iyileşme süresinin kısalması ve cerrahın iş yükünün azalması gibi klinik avantajlar sağlamaktadır. Sonuç olarak, PID kontrollü cerrahi robotlarda hata payının azaltılması, modern tıp teknolojilerinin geleceği açısından kritik bir araştırma alanıdır. Geliştirilen yöntemlerin klinik uygulamalara entegrasyonu, robot destekli cerrahilerin güvenilirliğini artıracak ve sağlık alanında önemli katkılar sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: PID kontrol, cerrahi robot, hata payı azaltma, adaptif kontrol, kuvvet ileri beslemesi

1. GİRİŞ

Cerrahi uygulamalarda robot teknolojilerinin kullanımı son on yılda belirgin bir artış göstermiştir. Robotik sistemler, insan becerilerinin ötesinde tekrarlanabilirlik ve stabilite sağlayarak özellikle minimal invaziv cerrahide avantaj sunar. Bu avantajlar, daha küçük kesiler, daha kısa iyileşme süreleri ve daha düşük komplikasyon oranları gibi hasta merkezli faydalara dönüşmektedir. Ancak cerrahi ortamın doğası gereği, robotik sistemlerin hem konum hem de kuvvet kontrolünde yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlaması gerekir; aksi hâlde doku hasarı veya istenmeyen müdahaleler gerçekleşebilir. Kontrol algoritmaları cerrahi robot performansının kilit belirleyicisidir. Pratikte en sık rastlanan yöntemlerden biri PID (Proportional–Integral–Derivative) kontrolüdür; bunun temel nedeni, uygulanmasının görece basit olması, gerçek zamanlı çalışmaya uygunluğu ve geniş bir çalışma aralığında tatmin edici performans vermesidir. Bununla birlikte PID kontrolün doğrudan uygulanması, sensör gürültüsü, geri besleme gecikmeleri, model belirsizlikleri ve dış bozucular nedeniyle yetersiz kalabilir. Bu tür problemlerin gerçek cerrahi senaryolarda ortaya çıkışı, PID tabanlı sistemlerde hataların büyümesine ve kontrol performansının düşmesine neden olur. Literatürde, PID kontrolü iyileştirmek için birçok yaklaşım önerilmiştir. Adaptif PID yöntemleri, sistem parametreleri değiştiğinde kontrol kazançlarını otomatik olarak uyarlayarak performansı sabit tutmayı amaçlar. Model tabanlı ileri besleme teknikleri ise bilinen dinamik davranışlardan yararlanarak beklenen hatayı önceden düzeltir; bu yaklaşım özellikle gecikme ve model belirsizliği olan sistemlerde etkilidir. Ayrıca kuvvet–konum hibrit kontrol stratejileri, özellikle yumuşak ve değişken dirence sahip doku ile etkileşimde güvenliği artırmak için kullanılır; bu stratejiler robotun hem pozisyon hem de uygulanan kuvvet üzerinde aynı anda kontrol sahibi olmasını sağlar. Türevsel filtreleme ve gecikme telafisi gibi destekleyici yöntemler de türevsel terimin yol açtığı gürültü problemlerini azaltmak ve kontrolcü davranışını stabilize etmek için sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, PID kontrollü cerrahi robotlarda hata kaynaklarını sistematik olarak ele alıp, literatürde öne çıkan iyileştirme yöntemlerini birleştirerek hata payını azaltmaya yönelik uygulanabilir stratejiler önermektir. Özel olarak şu sorulara yanıt aranacaktır: PID tabanlı bir kontrol mimarisinde en kritik hata kaynakları nelerdir; adaptif ve model tabanlı tekniklerin kombinasyonu hangi koşullarda etkili olur; kuvvet–konum hibrit kontrolü gerçek cerrahi etkileşimlerinde nasıl uygulanmalı ve hangi sınırlar içinde güvenli sonuç verir?

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (veya UYGULAMALAR)

Cerrahi robotlarda PID kontrolün uygulanması, diğer endüstriyel robot sistemlerine kıyasla daha karmaşık bir yapı gerektirir. Bunun temel nedeni, insan dokusunun elastik, heterojen ve dinamik davranışlar göstermesi ve robotun çevre ile hassas kuvvet-temas etkileşimi içinde olmasıdır. Bu bölümde PID kontrolün cerrahi robotlara uygulanmasına ilişkin temel yapı, karşılaşılan hata kaynakları ve yaygın iyileştirme teknikleri açıklanmaktadır.

2.1. Cerrahi Robotlarda PID Kontrol Yapısının Uygulanması

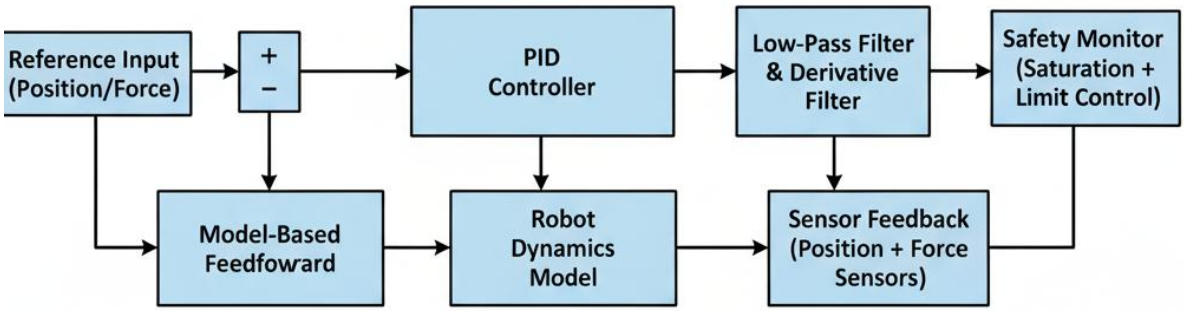
PID kontrol; robotik kolun konum, hız ve kuvvet gibi parametrelerinin referans değerlere uygun biçimde gerçekleştirilmesi için bir geri besleme mekanizması sağlar. Cerrahi robot uygulamalarında PID kontrolün ana amacı, uç efektörün (end-effector) konumlandırma hassasiyetini arttırmak ve operasyon sırasında güvenli bir kuvvet uygulamasını sağlamaktır.

PID kontrolcü aşağıdaki temel denklem ile ifade edilir:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Burada, e(t) hata sinyalini, Kp, Ki ve Kd ise sırasıyla oransal, integral ve türev kazançlarını temsil eder. Cerrahi robotlara özgü PID uygulamasında kontrol döngüsü Şekil 1'de gösterildiği gibi ek güvenlik ve filtreleme katmanları ile desteklenir.

Şekil 1. PID UYGULAMASINDA KONTROL DÖNGÜSÜ



2.2. Hata Kaynakları ve Azaltma Teknikleri

PID kontrol performansını etkileyen hata kaynaklarının anlaşılması, kontrol tasarımının doğru yapılabilmesi için kritiktir. Cerrahi robotlarda gözlenen başlıca hata kaynakları ve bu hataların azaltılması için kullanılan yöntemler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Cerrahi Robotlarda PID Kontrolde Hata Kaynakları ve Azaltma Yöntemleri

Hata Kaynağı	Açıklama	Kontrol Üzerindeki Etki	Azaltma Yöntemleri
Sensör Gürültüsü	Konum ve kuvvet sensörlerinin parazitli veri üretmesi	PID özellikle D teriminde gürültüyü büyütür	Düşük geçiren filtre, Kalman filtresi
Geri Besleme Gecikmesi	Sensör, işlemci ve haberleşme gecikmeleri	Titreşim, kararsızlık, overshoot	Gecikme telafisi, model tabanlı ileri besleme
Model Belirsizlikleri	Doku sertliği ve robot dinamiği parametrelerinin değişmesi	Kp, Ki, Kd sabit kaldığında hata büyür	Adaptif PID, kazanç planlama
Mekanik Titreşim ve Sürtünme	Robot eklem sürtünmesi ve yüksek hızda titreşim	Sistem kararlılığı azalır	Türevsel filtre, sürtünme kompanzasyonu
Dış Bozucular	Operasyon sırasında doku ile ani temas veya direnç değişimi	Ani hata artışı ve güvenlik riski	Kuvvet–konum hibrit kontrolü, güvenlik limit kontrolü

Literatürde, özellikle adaptif PID ve model tabanlı yaklaşımların birlikte kullanılmasıyla karmaşık doku etkileşimlerinde hata payının **sub-milimetre seviyesine** kadar düşürülebildiği rapor edilmiştir.

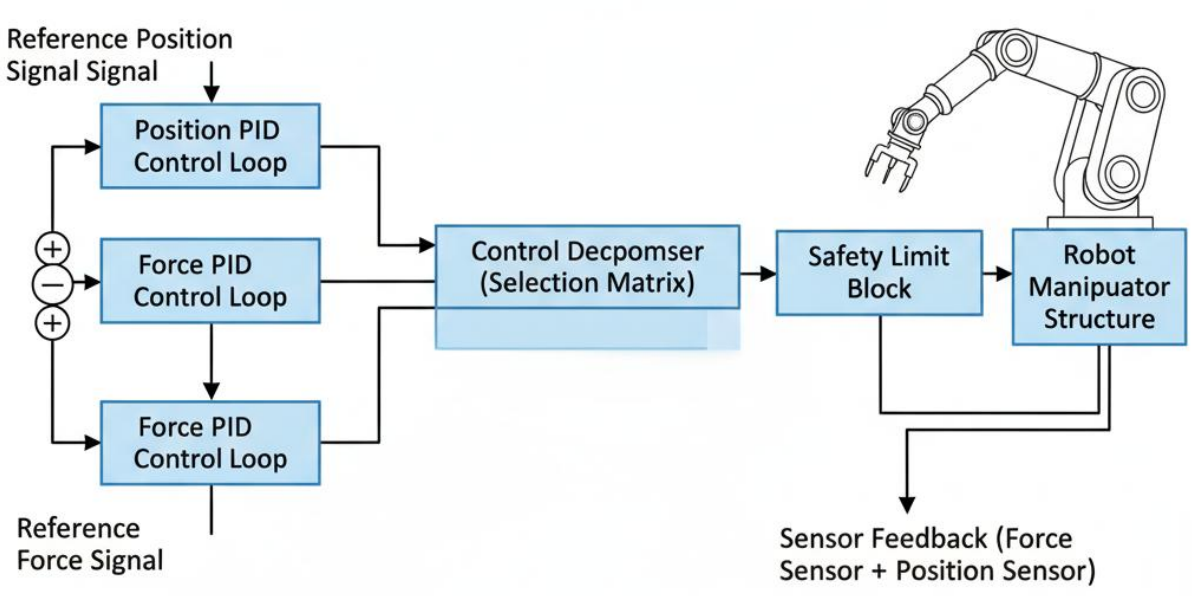
2.3. Adaptif PID ve Model Tabanlı İleri Besleme Uygulamaları

Adaptif PID yönteminin temel amacı, sistem parametreleri değiştiğinde PID kazançlarının gerçek zamanlı olarak uyarlanmasıdır. Cerrahi robotlarda doku sertliği, sürtünme katsayıları ve robot kolunun kinematik/ dinamik davranışları operasyondan operasyona değişebileceği için sabit PID değerleri ideal sonuç vermez. Bu nedenle adaptif PID yapılarına ek olarak model tabanlı ileri besleme (feed-forward) yaklaşımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yöntem, sistemin beklenen davranışını referans alarak kontrol sinyaline düzeltme ekler ve hata oluşmadan önce önlem alınmasını sağlar. Bu yaklaşım özellikle gecikmeli ve değişken dinamikli sistemlerde etkili olup, cerrahi robotlarda hatayı %30–60 oranında azalttığı çeşitli çalışmalarda belirtilmektedir.

2.4. Kuvvet–Konum Hibrit Kontrolü

Cerrahi robotlar, operasyon sırasında yalnızca konumlandırma yapmaz; aynı zamanda dokularla etkileşime girerek belirli bir kuvvet uygulamak zorundadır. Yalnızca konum kontrolü kullanmak, hassas dokularda gereğinden fazla kuvvet uygulanmasına yol açabileceği için risklidir. Bu nedenle literatürde yaygın olarak başvurulan yöntemlerden biri **kuvvet–konum hibrit kontrolüdür**. Bu yöntem, robot uç efektörünün bir eksende **konum kontrollü**, diğer eksende ise **kuvvet kontrollü** çalışmasını sağlar. Örneğin, doku yüzeyinde yanal hareket konum kontrollü olurken, dokuya temas eden eksen kuvvet kontrollü çalışır. Böylece hem hassas temas korunur hem de hasar riski azaltılır. Hibrit kontrol, insan cerrahın hassas dokunuş kabiliyetini robot sistemine kazandıran bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Çeşitli deneysel çalışmalar, hibrit kontrolün tekli PID kontrolüne kıyasla doku hasarını %40'a kadar azalttığını göstermektedir.

Şekil 2. Hibrit-Kuvvet Kontrolü Sistem Yapısı



2.5. Türevsel Filtreleme ve Gecikme Telafisi

PID kontrolün türev terimi, yüksek frekanslı sensör gürültüsünü büyüten bir yapıya sahiptir. Bu durum özellikle cerrahi robotlarda istenmeyen titreşimlere yol açabilir. Bu nedenle **türevsel filtreleme** kullanılır. En yaygın yaklaşım, türev terimini bir ilk dereceden filtreyle yumuşatmak ve gürültünün kontrol sinyaline geçmesini engellemektir.
Türevsel filtrelenmiş PID denklemi şu şekildedir:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{N}{1 + Ns} \frac{de(t)}{dt}$$

Burada N filtre katsayısını ifade eder.
Cerrahi robotlarda bir diğer yaygın problem geri besleme gecikmesidir. Sensör ölçümü, veri işleme ve kontrolcü arasındaki milisaniyelik gecikmeler bile hassas cerrahi kontrolü olumsuz etkiler. Gecikme telafisi için Smith predictor, model tabanlı tahmin ve ileri besleme yaklaşımları kullanılmaktadır. Literatürde, gecikme telafisi kullanılan sistemlerde overshoot oranının %25'e kadar azaldığı belirtilmektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

PID kontrolün tek başına kullanıldığı cerrahi robot uygulamalarında, hata payının belirli bir seviyenin altına düşmediği bilinmektedir. Bunun temel nedeni, cerrahi ortamda dinamik yapıların değişkenlik göstermesi ve doku-robot etkileşiminde kesin bir matematiksel model oluşturmanın zorluğudur. Bu çalışmada ele alınan adaptif PID, ileri besleme, hibrit kontrol, türevsel filtreleme ve gecikme telafisi yöntemleri bir arada değerlendirildiğinde:

- Konumlandırma doğruluğu kayda değer biçimde artmakta,
- Doku hasarı riski düşmekte,
- Kontrol kararlılığı güçlenmekte,
- Cerrahın müdahale ihtiyacı azalmakta,
- Operasyon süresi kısalmaktadır.

Hibrit kuvvet–konum kontrolünün özellikle hassas doku yüzeylerinde en yüksek başarıyı sağladığı görülmektedir. Adaptif PID ve ileri besleme kombinasyonu ise sistem dinamiği değiştiğinde bile performansın sabit kalmasını sağlamıştır.
Çalışmalarda bildirilen sonuçlar, uygun kontrol mimarisi seçildiğinde hata payının 0.1–0.3 mm aralığına kadar düşürülebildiğini göstermektedir. Bu durum, insan eliyle sağlanması güç bir hassasiyet seviyesidir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Cerrahi robotik sistemlerin gelişimi, hassas kontrol algoritmalarının iyileştirilmesine doğrudan bağlıdır. PID kontrol, gerek esnekliği gerekse gerçek zamanlı uygulamalara uygunluğu sayesinde cerrahi robotlarda hâlâ en yaygın kullanılan yöntemdir. Ancak cerrahi ortamın değişken yapısı, doku özelliklerinin bilinmezliği ve sensör-tabanlı geri beslemenin sınırlamaları nedeniyle klasik PID kontrol tek başına her zaman yeterli olmamaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen yöntemler; adaptif PID, model tabanlı ileri besleme, hibrit kuvvet–konum kontrolü, türevsel filtreleme ve gecikme telafisi gibi yaklaşımların, PID kontrol performansını belirgin düzeyde artırdığını göstermektedir. Bu yöntemler, sistemin değişken koşullara uyum sağlayabilmesini ve operasyon sırasında yüksek doğrulukta çalışmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle hibrit kontrol yapıları, robot–doku etkileşiminin güvenli sınırlar içinde kalmasını sağlayarak doku hasarını azaltmakta ve hasta güvenliğini artırmaktadır. Elde edilen bulgular, PID tabanlı kontrol yaklaşımlarının uygun iyileştirme teknikleri ile desteklendiğinde gelecekte de cerrahi robotların ana kontrol yöntemi olarak önemini sürdüreceğini göstermektedir. Bununla birlikte, yapay zekâ destekli adaptif kontrol, makine öğrenmesi tabanlı hata tahmini ve otonom kontrol mimarileri gibi yeni alanlarla entegrasyonun, robot destekli cerrahilerde bir üst seviyeye geçiş sağlayacağı öngörülmektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmalarda;

- Adaptif ve hibrit kontrol yapılarının yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleriyle birleştirilmesi,
- Hasta spesifik doku modellerinin oluşturularak kontrolcülerin kişiye özel hale getirilmesi,
- Cerrahi robot simülasyon ortamlarının gerçek zamanlı öğrenme altyapıları ile geliştirilmesi önerilmektedir.

Bu gelişmelerin, robot destekli cerrahinin yaygınlaşmasına katkı sağlayacağı ve klinik kabul oranlarını artıracağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

(Kitap Örneği)

1. Siciliano, B. ve Khatib, O., *Springer Robotics El Kitabı*, Springer, 2016.
2. Spong, M. W., Hutchinson, S. ve Vidyasagar, M., *Robot Modelleme ve Kontrol*, Wiley, 2006.

(Bildiri Kitabı Örneği)

3. Spong, M. W., Hutchinson, S. ve Vidyasagar, M., *Robot Modelleme ve Kontrol*, Wiley, 2006.
4. Lee, D. ve Spong, M. W., "Sabit Zaman Gecikmesine Sahip Pasif İki Yönlü Teleoperasyon", IEEE Robotics Conference, 2871–2877, Roma, 2006.

(Tez Örneği)

5. Hayashi, T., *Tıbbi Robotlarda Adaptif Hibrit Kuvvet–Konum Kontrol Tasarımı*, Doktora Tezi, Tokyo Üniversitesi, Mühendislik Enstitüsü, Tokyo, 2014.
6. Kaya, E., *PID Kontrollü Robotik Sistemlerde Gecikme Telafisi Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2021.

(Makale Örneği)

7. Nearchou, N. C., "Robot Manipülatörler İçin Adaptif PID Kontrolü", *Robotics and Autonomous Systems*, 23(1), 37–57, 1998.
8. Hogan, N., "İmpedans Kontrolü: Manipülasyon İçin Bir Yaklaşım", *ASME Journal of Dynamic Systems*, 107(1), 1–7, 1985.
9. Lowe, D., "Yeni Adaptif PID Öğrenme Kontrolü", *IEE Proceedings Control Theory and Applications*, 144(1), 31–39, 1997.

(Yalnızca İnternet Ortamında Yer Alan Kaynaklar)

10. https://ieeexplore.ieee.org (Erişim Tarihi: 07.11.2025)
11. https://www.sciencedirect.com (Erişim Tarihi: 07.11.2025)

(E-dergilerdeki Makaleler)

12. Lum, P. S., Burgar, C. G. ve Van der Loos, H. M., "Rehabilitasyonda Robot Kullanımı", *The Turkish Online Journal of Distance Education*, 10(2), 109–123,2009.
13. Kermani, M. R., et al., "Tıbbi Robotik Sistemler Üzerine Bir İnceleme", *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 2005.

SAVUNMA SANAYİ SEKTÖRÜNDE SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ VE YAZILIM GELİŞTİRME TAKIMLARININ NEXUS ÇERÇEVESİ İLE ENTEGRASYONU ÜZERİNE BİR ÇEVİK ÇALIŞMA YAKLAŞIMI

AN AGILE APPROACH FOR THE INTEGRATION OF SYSTEMS ENGINEERING AND SOFTWARE DEVELOPMENT TEAMS IN THE DEFENSE INDUSTRY THROUGH THE NEXUS FRAMEWORK

Dr. Pürnur FIRAT

Aselsan A.Ş.,

purnurfirat@gmail.com – 0009-0004-7488-6112

ÖZET

Bu çalışma Savunma Sanayi Sektöründe yazılım geliştirme ekipleri ile Sistem mühendisliği ekiplerinin çevik yaklaşımlar kullanarak ortak ürün geliştirmesi üzerine çalışabilmesini sağlamak için oluşturulmuş yeni bir çevik çalışma modeli önerisi sunmayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında; çevik yaklaşımlar ve Savunma Sanayi'nde çeviklik üzerine literatür araştırması yapılmış, yazarın Doktor'a tezi de baz alınarak Nexus modeli üzerinden yeni bir çevik çalışma modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan model, Aselsan şirketinde toplam 32 kişiden oluşan 4 yazılım takımı ve 24 kişilik Sistem mühendisliği ekipleri üzerinde deneyimlenmiştir. Savunma Sanayi Sektöründe ilk kez gerçeklenen bu çalışma ile sektörde yer alan firmalar için Nexus tabanlı çevik çalışma modelinin artı ve eksi yönleri değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur. Tasarlanan model; özellikle ürün iş listesi yönetimi, takımlardaki rol ve sorumlulukların belirlenmesi, takım kurgularının oluşturulması, değer akışının sunulması, iletişim yönetimi ve planlamalarda çeviklik kültürü üzerinden çözümler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Savunma sanayinde çeviklik, Nexus, çevik takımlar, çevik sistem mühendisliği, çevik yazılım geliştirme, Nexus takımları, çeviklik kültürü.

ABSTRACT

This study aims to propose a new agile working model designed to enable software development teams and systems engineering teams in the defense industry to collaboratively develop products using agile approaches. Within the scope of the study, a literature review on agile methodologies and agility in the defense industry was conducted, and based on the author's doctoral thesis, a new agile working model was developed by adapting the Nexus framework.The proposed model was implemented and tested within Aselsan, involving four software teams with a total of 32 members and systems engineering teams consisting of 24

members. As the first of its kind in the defense industry, this study evaluates the strengths and weaknesses of the proposed Nexus based agile model and provides recommendations for organizations operating in the sector. The designed model particularly offers solutions in areas such as product backlog management, definition of team roles and responsibilities, creation of team structures, presentation of value streams, communication management, and planning — all through the lens of an agile culture.

Keywords: Agility in the defense industry, Nexus, agile teams, agile systems engineering, agile software development, Nexus teams, agile culture.

1. GİRİŞ

Savunma Sanayi projeleri, yüksek karmaşıklık, kapsamlı dokümantasyon gereksinimleri, güvenlik kısıtları ve uzun soluklu yaşam döngüleri nedeniyle geleneksel olarak plan odaklı (Waterfall, V-Model vb.) yaklaşımlar ile yönetilmektedir. Bununla birlikte, artan teknik karmaşıklık, hızlı teslimat gereksinimi, müşteri beklentilerinin değişkenliği ve ürün doğrulama süreçlerinin yoğunluğu, çevik işleyişlere olan ihtiyacı artırmıştır. Çevik yaklaşımlar, yazılım geliştirmede başarılı bir şekilde uygulanıyor olsa da sistem mühendisliği süreçlerinin çevik çerçeveler ile entegrasyonu Savunma Sanayi'nde halen önemli bir iyileştirme alanıdır.

Bu araştırmanın amacı, Savunma Sanayi'nde sistem mühendisliği ve yazılım geliştirme ekiplerinin birlikte çevik çalışmasını mümkün kılan, Nexus tabanlı yeni bir modeli tanıtmak, bu modelin sahadaki uygulamasını değerlendirmek ve süreçlerde elde edilen sonuçları aktarmaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çevik çerçeveler takım seviyesi ve ölçekli olarak 2 grupta toplanmaktadır.

Aşağıda en çok tercih edilen takım seviyesi çevik yaklaşımlar sıralanmıştır.

- Scrum
- Kanban
- Scrumban
- XP – Extreme Programming
- DSDM – Dynamic Systems Development Method

Aynı ürün üzerinde çalışan 2'den fazla çevik takımın verimli ve etkin koordinasyonu için geliştirilmiş yaklaşımlara ölçekli çevik yaklaşımlar denmektedir. Aşağıda en çok tercih edilen ölçekli çevik yaklaşımlar sıralanmıştır.

- SAFe – Scaled Agile Framework
- LeSS – Large-Scale Scrum
- Nexus
- DAD – Disciplined Agile Delivery
- Spotify Modeli

Bu çerçeve ve yaklaşımlar içerisinde çalışmanın temelini oluşturan **Nexus**, 3 ile 9 Scrum takımının ortak bir ürün üzerinde koordineli biçimde çalışmasını sağlayan ölçekli bir çevik çerçevedir. Nexus çerçevesi; uygulama kolaylığı, geliştirme takımları seviyesinde koordinasyon gerekliliği(üst yönetim desteğine ihtiyaç duyulmaması), daha kısa süreli ve sık planlama yapabilme(Sprint'ler bazında planlama) ve uygulamaya konu olan Scrum takımlarına uyumluluğu avantajları ile tercih edilmiştir.

3. SAVUNMA SANAYİ'NDE ÇEVİKLİK ÖNÜNDEKİ ENGELLER

Savunma Sanayi projelerinde çevik işleyişin benimsenmesini güçleştiren başlıca faktörler şunlardır:

- Plan odaklı modellerden çevik süreçlere geçiş zorluğu
- Hiyerarşik örgüt yapısının kendi kendini yöneten takımlarla uyumsuzluğu
- Güvenlik ve gizlilik gereksinimlerinin paydaşlar arası etkileşimi sınırlaması
- Regülasyonlar nedeniyle kapsamlı dokümantasyon zorunluluğu
- Sabit fiyatlı sözleşmelerin çevik yaklaşım ile uyum sorunları
- Müşteri ve son kullanıcı ile sınırlı temas
- Yazılım geliştirme takımlarının diğer disiplinlerle entegrasyonundaki yetersizlik

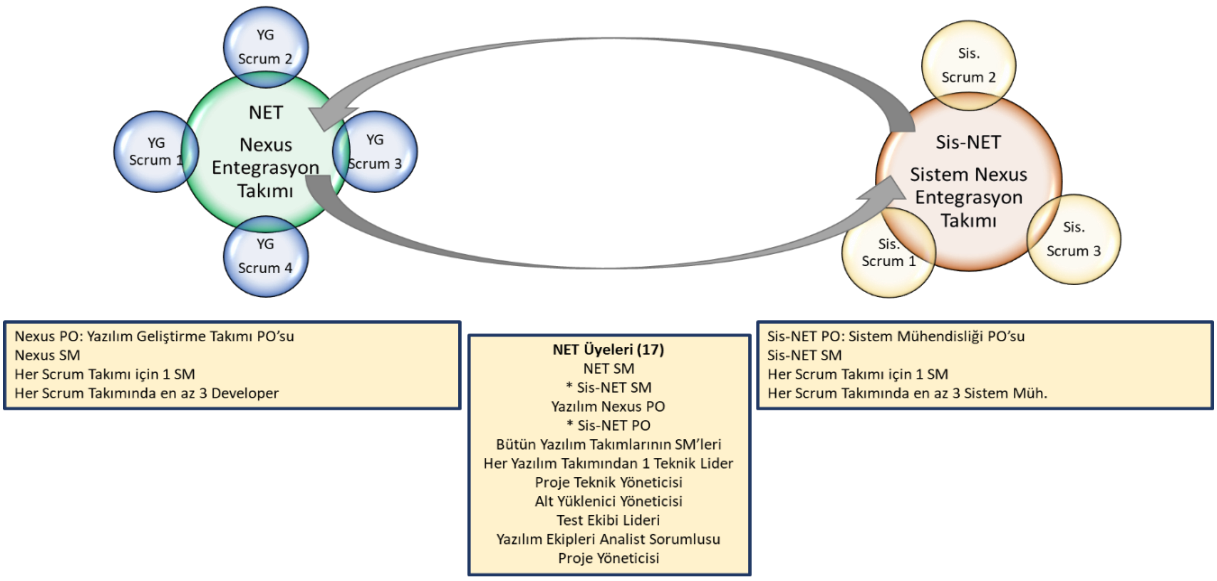
Bu engeller, ölçekli çevik çerçevelerin sektöre uygulanmasını özel kılmakta ve disiplinler arası entegrasyon ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

4. YÖNTEM: NEXUS TABANLI YENİ ÇEVİK MODELİN TASARIMI

Savunma sanayi projelerinde sistem mühendisliği ve yazılım ekiplerinin birlikte çalışmasında iyileştirme gereken alanlar şunlardır:

- PO(Product Owner-ürün sahibi) rolünün müşteri tarafında konumlandırılamaması ve sistem veya yazılım takımları içine kaydırılması
- Sistem gereksinimlerinin yazılım PBI(Product Backlog Item-ürün iş listesi maddesi)'larına dönüştürülmesindeki zorluklar
- Sistem mühendislerinin sadece yazılım gereksinimlerine dedike olarak çalışamaması
- Sprint'ler arası bağımlılık nedeniyle sistem ekiplerinin önden gitme zorunluluğu
- İş önceliklendirmede yüksek seviye koordinasyon gerekliliği

Burada sıralanan alanlara çözüm sunabilmek adına tasarlanan yeni model, sistem mühendisliği ve yazılım geliştirme takımlarının iki ayrı Nexus yapısı içinde fakat ortak ritüeller ve koordinasyon mekanizmaları aracılığıyla entegre çalışmasını temel almaktadır.



Görsel 1. Önerilen Yaklaşımda Takımların Yapılanması

Görselde yer alan Developer(geliştirici) rolü, yazılım geliştirme takımlarında Scrum çerçevesine göre geliştirici ünvanı ile çalışan; analist, yazılım mühendisi, test mühendisi ve/veya mimar rollerini ifade etmektedir. SM rolü, Scrum çerçevesi kapsamında Scrum Master rolünü üstlenen kişidir. NET(Nexus entegrasyon takımı) üyelerinin sayısı Aselsan içinde yapılan çalışmada 17 kişi olarak deneyimlenmiştir ancak bu sayı takım büyüklüklerine ve rol dağılımlarına bağlı olarak farklı uygulamalarda değişebilir.

Yeni çalışma modelinde çevik takımların yürütmesi gerekli olan ritüeller aşağıdaki şekilde tasarlanmıştır.

Daily: Her Scrum takımı kendi içinde 15 dakika

NET Daily: Sadece NET üyeleri katılımı ile haftanın 4 günü 15 dakika-Takım Daily'lerinden hemen sonra

NET Weekly: Haftada 1 gün 1 saat (Riskler, sorunlar ve NET Retro maddeleri konuşulur)

Nexus Planlama: 3 aşamalı olarak gerçeklenir.

1. seans: 30 dakika - sadece NET üyeleri katılır

2. seans: 2-3 saat - Takımlar içi Sprint Planlamalar (YG Scrum takımları + Sis-NET Takımı)

3. seans: 30 dakika - sadece Net üyeleri ile

Nexus Review: 1-2 Saat – Tüm takımların ve tüm paydaşların katılımı ile(son kullanıcı/gerçek müşteri hariç) – Takımlar sırayla kendi Sprint çıktılarını sunarlar.

Nexus Retro: 3 aşamalı olarak gerçeklenir.

1. seans: 90 dakika – YG takımları ve Sis-NET Takımı(ayrı bir takım olarak) katılımı ile gerçeklenir.

2. seans: 30 dakika – Takımların SM'leri kararlaştırdıkları Retro maddelerini sunarlar.

3. seans: 30 dakika - Sadece Net üyeleri katılımı ile NET işleyişi için iyileştirme aksiyonları tanımlanır.

Ürün iş listesi iyileştirme aktiviteleri; yazılım geliştirme ve sistem takımlarına özel olarak organize edilir. PO ve ilgili takım üyelerinin katılımı ile 1 Sprint'te en az 1 kez olacak şekilde gerçeklenir.

Yeni çalışma modelinde backlog yönetimi konusunda da farklılaştırmalar yapılmıştır. Nexus teorisinde ortak bir ürün backlog'u varken Savunma Sanayi'nde; sistem mühendisliği PBI'larının yapısı, DoD(Definition of Done-bitti tanımı) kriterleri ve iş akışı, yazılım PBI'larından farklıdır. Bu nedenle iki ayrı fakat entegre çalışan backlog yapısı tasarlanmıştır. Sistem mühendisliği backlog yapısında yer alan PBI türleri aşağıdaki şekilde ayrılmaktadır.

- CR – Change request
- SR – System request
- Task – Yazılım geliştirme dışı tüm işler
- Epikler(Sistem gereksinim özelliklerinden türetilmektedir).

Bu PBI çeşitlerinden ilk ikisi(CR ve SR'lar) yazılım geliştirme takımlarına girdi oluşturacak iş maddeleri olarak ayrılmışlardır.

5. SONUÇ

Yeni sunulan çevik çalışma yaklaşımı, 32 kişi - 4 Scrum(yazılım geliştirme) ve 24 kişi - 3 Scrum(sistem mühendisliği) takımlarından oluşan bir entegrasyon yapısında 3 ay süre ile uygulanmış ve sonuçları aşağıda paylaşılmıştır.

- Tüm geliştirme ve sistem takımları tek bir Nexus içinde yer almadan, 2 farklı Nexus takımı 1 Sprint Zaman Farklılığı ile entegre edilerek daha yönetilebilir şekilde çalıştı.
- 2 farklı bağımsız Nexus olarak değil aynı ürüne hizmet eden ve ortak ritüelleri olan bir çalışma yapısı kurulmuş oldu.
- 2 Nexus takımının paydaşlarının ortak olması sebebi ile ortak risk ve sorun yönetimi yapılabildi ve ortak Nexus ritüelleri(Review, Planlama, Retro, NET Daily ve NET Weekly) gerçeklenebildi.
- Hiyerarşik bir yapı değil her takımın tamamen eşit seviyede olduğu kendi kendini yöneten takımlar ile otonomi güçlendirildi.
- Güvenlik ve Gizlilik kısıtları sebebi ile sadece Alt yüklenici yöneticisinin NET'e dahil edilmesi sayesinde paydaş yönetiminde yaşanan sorunlar hafifletildi.
- Savunma Sanayinde Proje Yönetiminin önemi sebebi ile Proje Yöneticisinin de NET'e dahil edilmesi sağlandı.
- Direk son kullanıcının çevik işleyişe dahil edilememesi kısıtı, Sistem Mühendisliği PO'su ve Proje Yöneticisi'nin Temsilci rolü ile büyük oranda aşılabildi.

Nexus tabanlı yeni yaklaşımın uygulanması, özellikle karmaşık Savunma Sanayi projelerinde disiplinler arası çevik entegrasyonun mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak PO kapasitesinin yetersiz kalması, toplantı yükünün artması ve NET ekibinin genişliği gibi konular çevikleşmeyi sınırlayan pratik zorluklar arasında yer almaktadır.

Bu nedenle ölçekli çevik modellerin Savunma Sanayi'ne uyarlamasında;

- Rol optimizasyonu
- Paydaşların ritüellere hangi düzeyde katılacağı
- Güvenlik kısıtlarına rağmen bilgi akışını destekleyecek kanallar

gibi unsurlar kritik önemdedir.

Bu çalışma, Savunma Sanayi'nde sistem mühendisliği ve yazılım geliştirme süreçlerini Nexus tabanlı bir entegrasyon modeliyle bir araya getirerek özgün bir çevik yaklaşım sunmaktadır. Uygulamalı değerlendirme sonucunda modelin iletişim, önceliklendirme, görünürlük ve iş birliği alanlarında belirgin iyileştirmeler sağladığı görülmüştür ve sonraki uygulamalar için şu önerilerde bulunulmaktadır:

- Her yazılım takımında bir analistin bulunması PO'nun üzerindeki yükü azaltacaktır.
- Toplantı yükü artmış olsa da iletişim maliyetini azalttığı için sürdürülebilir kabul edilmektedir.
- NET toplantılarına katılım rol bazında optimize edilmelidir.
- Proje Teknik Yöneticisinin aynı zamanda Sistem PO olarak görevlendirilmesi yönetimsel verimlilik sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Block, S., *Large-Scale Agile Frameworks. In: Large-Scale Agile Frameworks*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2023.

2. Stellman, A., Greene, J., *Learning Agile*, O'Reilly Media, Inc., CA, Sebastopol, 2015.

3. Fırat, P., *Örgütsel çevikleşme: Proje örgütlerde Nexus Olgunluk Modeli önerisi,* Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2018.

4. https://www.scrum.org/resources/scaling-scrum (Erişim tarihi: 12.10.2025)

5. https://www.scrum.org/ (Erişim tarihi: 12.10.2025)

6. https://visuresolutions.com/tr/havac%C4%B1l%C4%B1k-ve-savunma/%C3%A7evik-metodolojiler/ (Erişim tarihi: 21.10.2025)

7. Gracias-Maryam, H. and Gallegos, E. E. (2024). Transitioning Perspectives: Agile and Waterfall Perceptions in the Integration of Model-Based Systems Engineering (MBSE) within Aerospace and Defense Industries. The ITEA Journal of Test and Evaluation, 45

(4). https://itea.org/journals/volume-45-4/agile-and-waterfall-perceptions/ (Erişim tarihi: 11.11.2025)

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONUNA DAYALI SEZGİSEL BULANIK REGRESYON FONKSİYONLARI YAKLAŞIMI

Prof. Dr. Eren Baş
Giresun Üniversitesi,
eren.bas@giresun.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-0263-8804

Prof. Dr. Erol EĞRİOĞLU
Giresun Üniversitesi,
erol.egrioglu@giresun.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4301-4149

ÖZET

Öngörü problemini çözümünde sezgisel bulanık kümelere dayalı yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Sezgisel bulanık kümeleme ile gözlemlerin kümelere üye olma ve üye olmama değerleri elde edilerek, modelleme sürecinde açıklayıcı değişken olarak kullanılması fikri ve çoklu lineer modellerin sonuçlarının dinamik olarak birleştirilmesi öngörü elde etmede avantaj sağlamaktadır. Sezgisel bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımlarında, açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişkilerin yarattığı çoklu bağlantı sorunu, Ridge regresyon kullanımı ile kısmen bertaraf edilmiştir. Bu çalışmada klasik Ridge regresyon yerine her açıklayıcı değişken için ayrı bir Ridge parametresinin tanımlandığı parçacık sürü optimizasyonuna dayalı regresyon yaklaşımı ile sezgisel bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımı gerçekleştirilerek bu modifikasyonun öngörü performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sezgisel Bulanık Kümeler, Sezgisel Bulanık Kümeleme, Sezgisel Bulanık Regresyon Fonksiyonları, Öngörü

1. GİRİŞ

Zaman serisi öngörü probleminde alternatif bir çözüm bulanık kümelerin kullanılmasıdır. Bulanık küme teorisi Zadeh (1965) çalışması ile literatüre tanıtılmıştır. Bulanık kümelerde klasik kümelerden farklı olarak evrensel kümenin elemanlarının, kümelere ait olması için 0 ve 1 aralığında değişen üyelik değerleri bulunmaktadır. Üyelik değerlerinin modelleme yaklaşımlarına değişik şekilde katkıları ile farklı bulanık çıkarım sistemleri oluşturulabilmiştir.

Bulanık kümelerin kullanılması ile farklı öngörü yöntemleri oluşturulmuştur. Bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımları sınıflama ve tahmin çalışmalarında kullanılabilen bir yöntem olarak Türkşen (2008) çalışmasında temelleri atılan bir yöntem sınıfıdır.

Tak ve Tak (2026) çalışmasında bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımlarının bir bibliyometrik analizi gerçekleştirilmiştir. Aladağ vd. (2014) çalışmasında bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımının öngörü problemindeki bir uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tak vd. (2018) çalışmasında bulanık fonksiyon yaklaşımına geri besleme mekanizması ilave edilmiştir. Dalar vd. (2018) çalışmasında ise bootstrap yaklaşım ilk kez bulanık fonksiyon yaklaşımı içinde kullanılmıştır. Bas, E., Egrioglu, E., Yolcu, U., & Grosan, C. (2019). Bas vd. (2019) çalışmasında bulanık fonksiyonlar yaklaşımındaki çoklu bağlantı sorununun çözümüne yönelik ridge regresyon yönteminin kullanımı önerilmiştir. Bas vd. (2020) çalışmasında ilk kez sezgisel bulanık zaman serisi fonksiyonları yaklaşımı önerilmiştir. Kızılaslan vd. (2020) çalışmasında bulanık fonksiyonlar yaklaşımının sezgisel bulanık kümelere bir genelleştirmesi ve ridge regresyonunn kullanıldığı bir yöntem önerilmiştir. Bas vd. (2019) ve Kızılaslan vd. (2020) çalışmalarında klasik ridge regresyon yaklaşımları kullanılmış olup bu yaklaşımda her değişken için aynı ridge parametresi kullanılmaktadır. Uslu vd. (2014) çalışmasında Ridge parametresinin tahmini için PSO'ya dayalı bir yöntem ortaya koyulmuştur. Bu yöntemin klasik Ridge regresyon yaklaşımlarında daha iyi çalışabildiği gösterilmiştir. Bu çalışmada Uslu vd. (2014) yöntemin genelleştirilmiş bir halinin, sezgisel bulanık rgeresyon fonksiyonları yaklaşımında kullanılması durumunda ortaya koyulan yeni yöntemin performansı araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde önerilen yöntem bir algoritma halinde açıklanması gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde uygulama sonuçları ve performans karşılaştırmaları verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. ÖNERİLEN YÖNTEM

Bu çalışmada, sezgisel bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımında PSO'ya dayalı genelleştirilmiş Ridge regresyon yöntemini kullanan bir algoritma ortaya koyulmuştur. Algoritma adımlar halinde aşağıda verilmiştir.

Adım 1. Değişkenlerin Tanımlanması:

- Girdi serisi (x) ve geçerlilik ve test veri sayısı (nval, ntest) alınır.
- Potansiyel girdi sayısı (p) aralığı ve bulanık küme sayısı (c) aralığı tanımlanır.
- Doğrulama veri seti tüm veriden test verisi çıkarılarak oluşturulur

Adım 2. En İyi Hiper-parametrelerin Aranması

Tüm hiper-parametre kombinasyonları için iç içe döngüler başlatılır.

- Her bir kombinasyon için, modelin performansını daha güvenilir kılmak amacıyla 5 tekrar (iterasyon) yapılır
- Döngü içinde, aşağıdaki alt adımlar uygulanır. Bu aşamada eğitim/doğrulama hataları elde edilir.

Adım 2.1. Ön İşlemler:

Veri parçalaması gerçekleştirilerek Gecikmeli matris (D) oluşturulur.

Adım 2.2. Bulanık Kümeleme (FCM) ve Üyelik Fonksiyonları:

Eğitim verisinin gecikmeli girdileri (D) üzerinde Sezgisel Bulanık c-Ortalamalar (IFCM) kümeleme algoritması çalıştırılarak c adet küme merkezi (C) bulunur.

- Eğitim verisi için iki farklı üyelik derecesi matrisi hesaplanır:
  - IFCM üyelik dereceleri.
  - IFCM üye olmama dereceleri.
- Alpha-cut değerinden küçük olan üyelik dereceleri sıfırlanır (filtreleme).

Adım 2.3. Çoklu Ridge Regresyon Modelinin Eğitimi:

- Her bir bulanık küme için bir Ridge Regresyon modeli eğitilir.
- Girdi Matrisi (X): k kümenin X matrisi, ilgili üyelik ve üyelik olmama derecelerinin ve gecikmeli girdi değerlerinin bir kombinasyonudur:
- Ridge Regresyon katsayıları Parçacık Sürü Optimizasyonu ile optimize edilerek bulunur.
- Her küme için birer tahmin vektörü hesaplanır.

Adım 2.4. Test Aşaması

Tüm serinin gecikmeli matrisi (D) oluşturulur. Tüm seri için üyelik ve üyelik olmama dereceleri matrisleri yeniden hesaplanır.

- Eğitimde bulunan Ridge Regresyon katsayıları (B_{r}) kullanılarak, tüm veri serisi için her bir kümenin ayrı ayrı tahmini ($Y_{kap}\{k,1\}$) hesaplanır.

Adım 2.5. Bulanık Kombinasyon Parametresi Optimizasyonu

- Her iki üyelik derecesi setine göre ayrı ayrı toplu bulanık tahminler yapılır. Bu, üyelik derecesi ağırlıklı ortalama ile gerçekleştirilir.
- Doğrulama seti üzerinde, tahminlerinin en iyi kombinasyonunu sağlayan β ağırlık parametresi yine Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile bulunur.
- Elde edilen tahmin değeri kullanılarak nihai eğitim ve test tahminleri hesaplanır.

Adım 2.6. Performans Değerlendirmesi:

Eğitim ve test veri setleri üzerinde tahmin performans metrikleri (RMSE, MAPE, vb.) hesaplanır.

Adım 3. Optimum Mimarinin Seçilmesi

En düşük doğrulama hatası bulunur. Bu minimum hatayı veren girdi sayısı (pbest) ve bulanık küme sayısı (cbest) optimum hiper-parametreler olarak belirlenir.

Adım 4. Optimum Mimarinin Test Edilmesi

- Seçilen optimum hiper-parametreleri kullanılarak model, tüm veri seti üzerinde (**30 kez**) çalıştırılır.
- Her tekrarda, model test verisi üzerinden performans hesaplaması yapılır.
- Test tahminleri için (RMSE, MAPE, vb.) hata ölçütleri hesaplanır.

Adım 5. İstatistiksel Analiz ve En İyi Tahminlerin Seçilmesi

- 30 tekrarın RMSE değerlerinin istatistikleri (ortalama, medyan, standart sapma, çeyrekler açıklığı, minimum, maksimum) hesaplanır.
- 30 tekrar içinde en düşük RMSE değerine sahip olan tekrarın tahmin sonuçları nihai sonuçlar olarak kaydedilir.

3. UYGULAMA

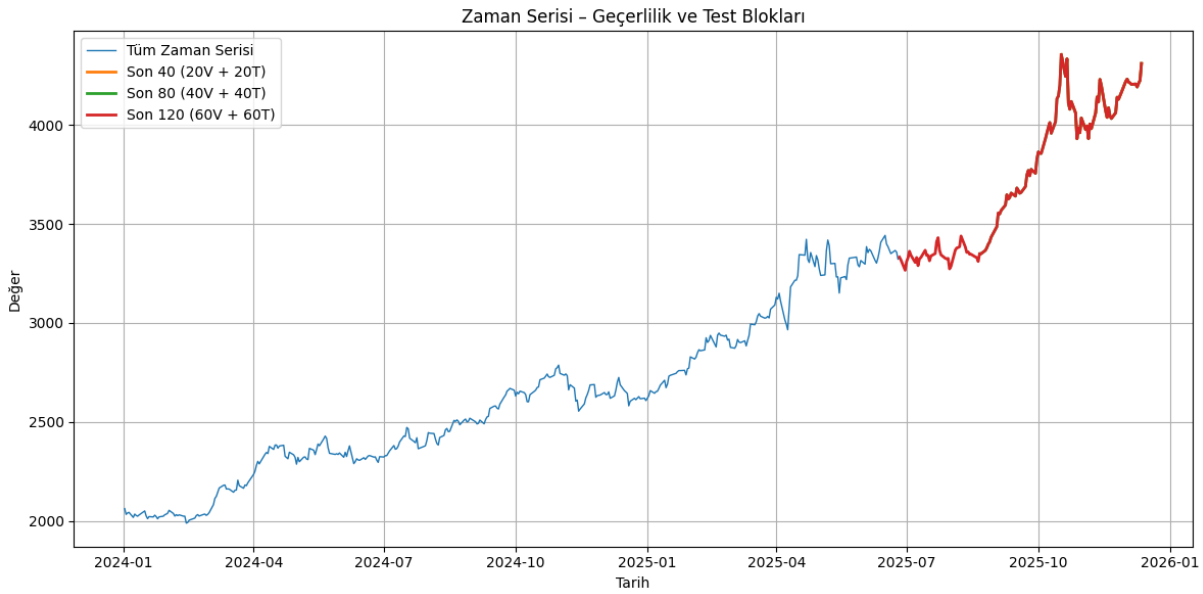
Uygulamada Yahoo Finans web sayfasından alınan dolar cinsinden altın borsası açılış fiyatları zaman serisi kullanılmıştır. Zaman serisi 02.01.2024 ile 12.12.2025 tarihleri arasındaki gözlem değerlerinden oluşmaktadır. Uygulamada zaman serisi, 3 ayrı veri parçalaması ile kısa, orta ve uzun vadede tahmin performansı araştırılmak için kullanılmıştır. Aşağıda Tablo 1'de veriş ile ilgili özetleyici istatistikler ve veri parçalaması detayları verilmiştir.

Tablo 1. 02.01.2024 ile 12.12.2025 tarihleri arasındaki dolar cinsinden altın borsası açılış fiyatları özet istatistikleri ve veri parçalaması

nval+ntest	Metrik	Eğitim	Geçerlilik	Test
40	Başlangıç Tarihi	2.01.2024	17.10.2025	14.11.2025
	Bitiş Tarihi	16.10.2025	13.11.2025	12.12.2025
	Ortalama	2770,83	4081,73	4158,89
	Medyan	2658,50	4060,00	4194,20
	Std Sapma	510,29	125,84	79,06
	Minimum	1990,30	3929,70	4031,80
	Maksimum	4198,80	4354,70	4309,10

80	Başlangıç Tarihi	2.01.2024	21.08.2025	17.10.2025
	Bitiş Tarihi	20.08.2025	16.10.2025	12.12.2025
	Ortalama	2679,36	3712,93	4120,31
	Medyan	2636,60	3675,20	4116,55
	Std Sapma	431,26	229,38	110,85
	Minimum	1990,30	3349,40	3929,70
	Maksimum	3442,00	4198,80	4354,70
120	Başlangıç Tarihi	2.01.2024	26.06.2025	19.09.2025
	Bitiş Tarihi	25.06.2025	18.09.2025	12.12.2025
	Ortalama	2608,07	3405,60	4044,82
	Medyan	2597,10	3357,50	4060,00
	Std Sapma	391,66	117,75	165,78
	Minimum	1990,30	3265,90	3659,00
	Maksimum	3442,00	3681,40	4354,70

Zaman serisinin grafiği aşağıda verilmiştir. Görüldüğü gibi zaman serisi artan bir trende sahip görülmektedir.



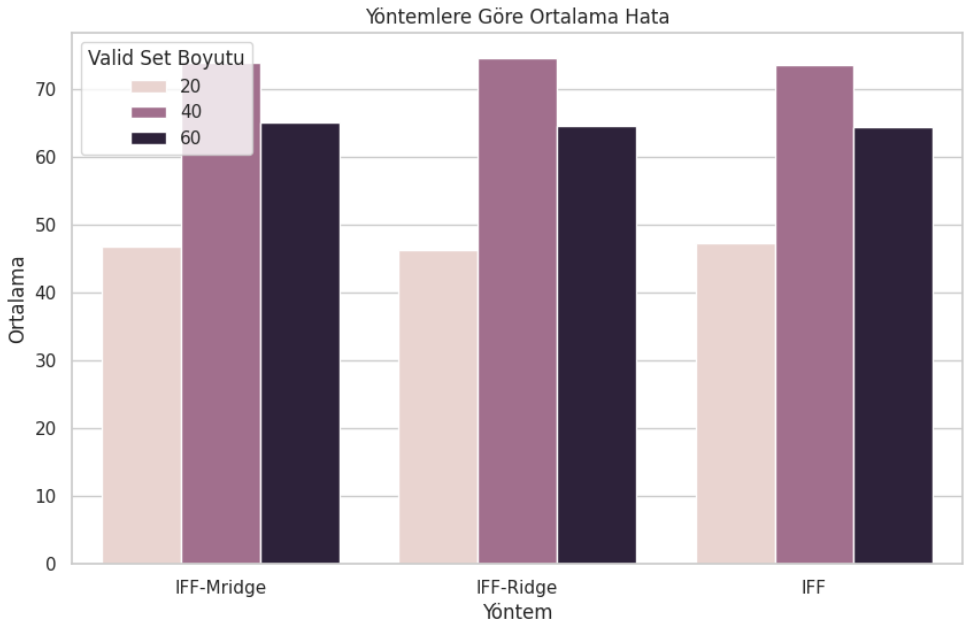
Şekil 1. 02.01.2024 ile 12.12.2025 tarihleri arasındaki dolar cinsinden altın borsası açılış fiyatları

Zaman serisi kullanılarak Bas vd. (2020) çalışmasındaki (IFF), Kızılaslan vd. (2020) çalışmasındaki (IFF-Ridge) yöntemlerinin performansı önerilen yöntem (IFF-Mridge) ile karşılaştırılmıştır. Tüm yöntemler benzer hiper parametre yaklaşımı ve benzer koşullar içinde uygulanmış ve Tablo 2'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2. Yöntemlerin karşılaştırılmasından elde edilen istatistikler ve en iyi hiper-parametre değerleri

Yöntem	Ort.	Medyan	Std. Sap.	IQR	Min	Max	p	c	nval	ntest
IFF-Mridge	46,7572	46,7642	0,02	0,00	46,6796	46,8220	2	5	20	20
IFF-Mridge	73,8775	73,9111	0,07	0,14	73,7431	73,9673	1	7	40	40
IFF-Mridge	65,0569	65,0893	0,21	0,40	64,7930	65,3733	1	7	60	60
IFF-Ridge	46,2965	46,1826	0,35	0,00	46,1697	47,3409	2	7	20	20
IFF-Ridge	74,5460	74,5460	0,00	0,00	74,5459	74,5460	4	6	40	40
IFF-Ridge	64,5634	64,5634	0,00	0,00	64,5633	64,5634	6	5	60	60
IFF	47,2433	47,2433	0,00	0,00	47,2433	47,2434	3	4	20	20
IFF	73,5932	73,7110	0,28	0,25	72,9978	74,5455	2	7	40	40
IFF	64,3563	64,3563	0,00	0,00	64,3563	64,3563	6	5	60	60

Tablo 2 incelenirse IFF-Mridge yöntemi için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. En düşük hata seviyesinin en az test kümesi olduğu durumda elde edildiği görülmektedir. Yöntemin sonuçların IFF-Ridge ve IFF'e göre daha oynak olduğu görülmektedir. Tüm veri boyutlarında optimal gecikme = 1,2 ve optimal küme sayısı 5,7 olarak elde edilmiştir. Yöntemler arasında en stabil IFF-Ridge yöntemi olduğu , küçük test kümesi boyutunda en iyi yöntemin IFF-Ridge olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Yöntemlere göre ortalama hata grafiği

Şekil 2'de yöntemlerin farklı test verisi uzunluğundaki ortalama RMSE değerleri görselleştirilmiştir. Her üç yönteminde orta vade performansının daha kötü olduğu görülmektedir. En iyi performans ise kısa dönem öngörülerde elde edilmiştir.

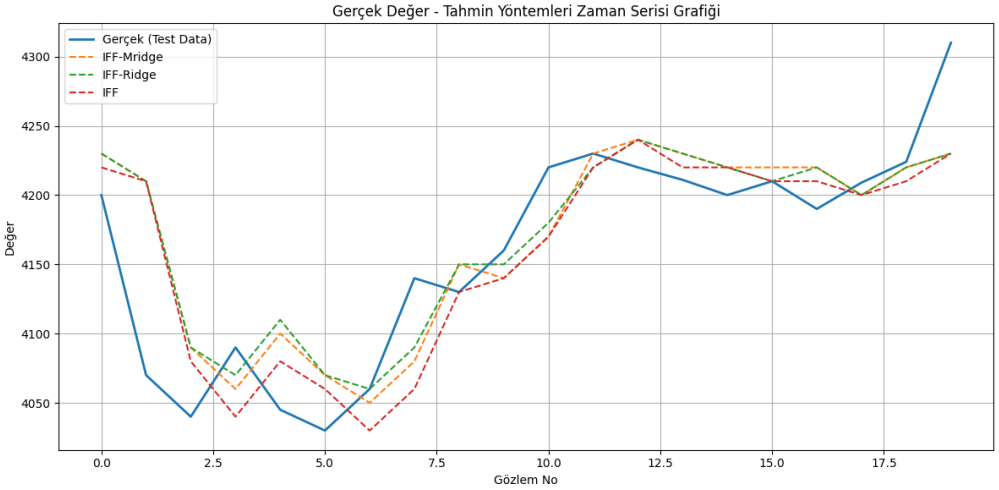
Tablo 3'de tüm yöntemlerin en iyi hiper-parametre setinde elde edilen en iyi test sonuçları için farklı hata ölçütleri hesaplanarak verilmiştir.

Tablo 3. Yöntemlerin en iyi hiper-parametre setinde elde edilen en iyi test sonuçları

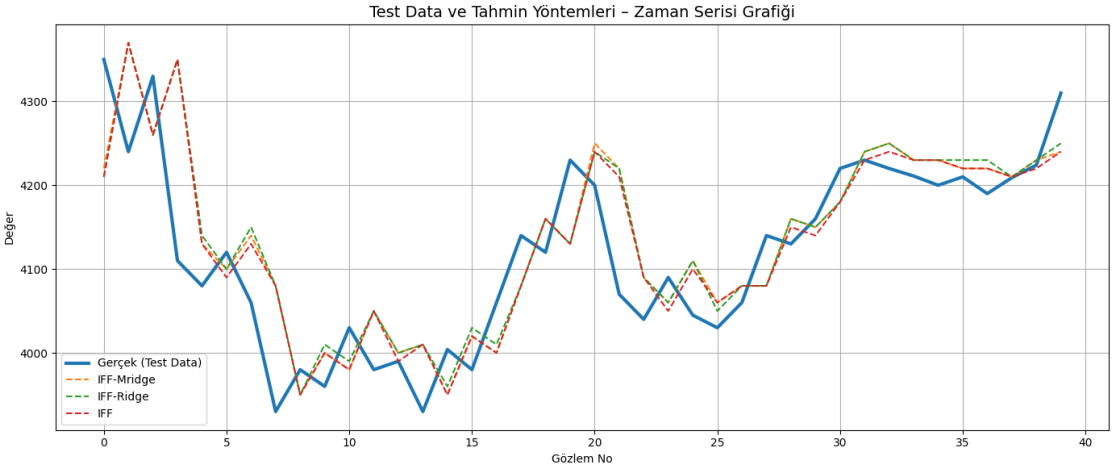
Hata Ölçütü	IFF-Mridge	IFF-Ridge	IFF	nval=ntest
RMSE	56,4600	57,0600	54,1700	20
MAPE (%)	1,1800	1,2000	1,1400	
SMAPE (%)	1,1800	1,2000	1,1400	
MASE	0,9400	0,9600	0,9200	
RMSE	69,1700	71,3000	69,8500	40
MAPE (%)	1,3400	1,4000	1,3700	
SMAPE (%)	1,3600	1,4100	1,3700	
MASE	0,9800	1,0100	0,9900	
RMSE	71,0700	73,0100	71,1900	60
MAPE (%)	1,4800	1,5400	1,5000	
SMAPE (%)	1,5000	1,5600	1,5100	
MASE	0,9900	1,0100	0,9900	

IFF-Mridge yönteminin MASE istatistiğinin diğer yöntemlerin hepsinden daha az olduğu ve 1'den küçük olduğu için Naive metoda göre de daha başarılı olduğu sonucuna varılır. Önerilen yöntem yine MAPE ve SMAPE istatistiklerine göre de diğer yöntemlerden başarılı sonuç ürettiği görülmektedir.

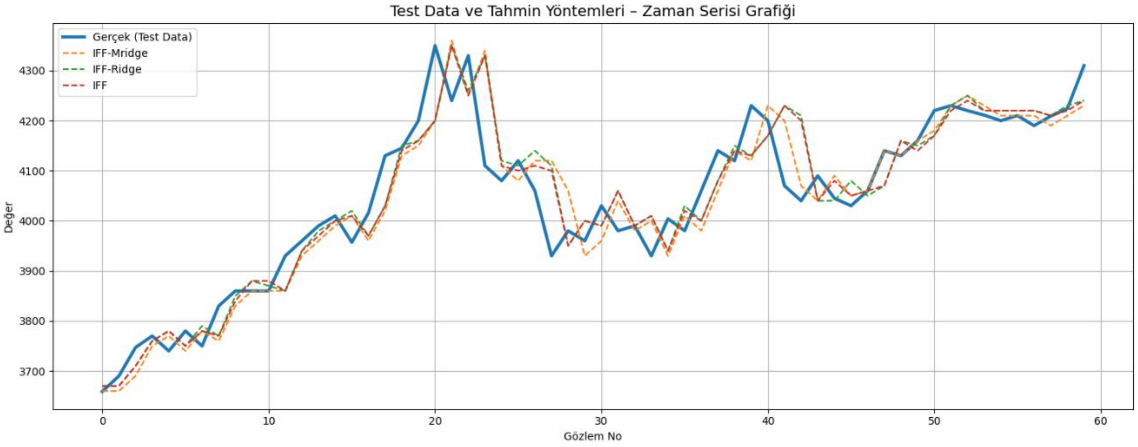
Tüm yöntemleri kısa, orta ve uzun dönemdeki öngörü grafikleri sırasıyla Şekil 3, 4 ve 5'de verilmiştir.



Şekil 3. Yöntemlerin kısa dönem öngörüleri



Şekil 4. Yöntemlerin orta dönem öngörüleri



Şekil 5. Yöntemlerin uzun dönem öngörüleri

4. SONUÇLAR VE TARTIMA

Bu çalışmada, sezgisel bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımlarında açıklayıcı değişkenler arasındaki çoklu bağlantı sorununu ele almak amacıyla, klasik Ridge regresyon yerine her açıklayıcı değişken için ayrı bir Ridge parametresinin tanımlandığı Parçacık Sürü Optimizasyonu temelli bir yaklaşım (IFF-Mridge) önerilmiştir. Önerilen IFF-Mridge yönteminin öngörü performansı, dolar cinsinden altın borsası açılış fiyatları zaman serisi üzerinde, standart sezgisel bulanık fonksiyonlar (IFF) ve klasik Ridge regresyon temelli sezgisel bulanık regresyon fonksiyonları (IFF-Ridge) yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Tablo 3'deki hata ölçütleri incelendiğinde, önerilen IFF-Mridge yönteminin tüm test kümesi boyutlarında (20, 40, 60) en düşük MASE değerine sahip olduğu görülmüştür. MASE değerlerinin 1'den küçük olması, IFF-Mridge'in Naive metoda göre de daha başarılı olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda IFF-Mridge, MAPE ve SMAPE istatistiklerinde de diğer yöntemlere kıyasla daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Öngörü dönemlerine göre performans değerlendirildiğinde yöntemlerin ortalama RMSE değerleri (Şekil 2), her üç yaklaşımın da orta vadede en kötü performansı sergilediğini göstermektedir. En iyi performans ise tüm yöntemler için kısa dönem öngörülerde elde edilmiştir. Bu, zaman serisinin artan trendi ve karmaşık yapısının orta vadeli tahminleri zorlaştırdığını düşündürmektedir. Kararlılık ve oynaklık açısından değerlendirme yapılır ise Tablo 2'deki istatistiklere bakıldığında, IFF-Ridge yönteminin en stabil (standart sapma ve IQR'nin düşük olması) yöntem olduğu görülürken, önerilen IFF-Mridge yönteminin sonuçlarının IFF ve IFF-Ridge'e göre daha oynak olduğu saptanmıştır. Bu çalışmanın ana katkısı, klasik Ridge regresyonun tek bir Ridge parametresi kullanma kısıtlamasını aşarak, her bir açıklayıcı değişken için ayrı ayrı optimize edilmiş Ridge parametrelerinin kullanımının, sezgisel bulanık regresyon fonksiyonları yaklaşımının öngörü performansını, özellikle MASE gibi ölçeklendirilmiş hata metriklerinde, artırabileceğini göstermesidir. Uslu vd. (2014)'ün klasik Ridge regresyonda PSO tabanlı parametre tahmininin daha iyi çalıştığı yönündeki bulgusu, bu çalışmada sezgisel bulanık regresyon fonksiyonlarına genelleştirilmiş ve yeni yöntemin etkinliği doğrulanmıştır. Önerilen yaklaşım, sezgisel bulanık kümelerin (üyelik ve üye olmama dereceleri) ve dinamik olarak birleştirilen çoklu lineer modellerin sağladığı avantajı Ridge regresyonun çoklu bağlantı sorununu kısmen bertaraf etme yeteneği ile birleştirerek öngörüde güçlü bir alternatif sunmaktadır. Gelecek çalışmalar, bu PSO tabanlı çoklu Ridge parametresi optimizasyonu yaklaşımının (IFF-Mridge), farklı zaman serileri ve daha karmaşık veri setleri üzerinde test edilmesini

içerebilir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan PSO dışındaki diğer optimizasyon algoritmalarının (örneğin, Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonisi Optimizasyonu) Ridge parametrelerinin optimizasyonundaki etkileri araştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

[1] Aladag, C.H. et al. (2014). Application of type-1 fuzzy functions approach for time series forecasting. *Turk. J. Fuzzy Syst.*

[2] Bas, E., Egrioglu, E., Yolcu, U., & Grosan, C. (2019). Type 1 fuzzy function approach based on ridge regression for forecasting. *Granular Computing, 4*(4), 629-637.

[3] Bas, E., Yolcu, U., & Egrioglu, E. (2020). Intuitionistic fuzzy time series functions approach for time series forecasting. *Granul. Comput.*

[4] Dalar, A. Z., & Eğrioğlu, E. (2018, February). Bootstrap type-1 fuzzy functions approach for time series forecasting. In *Trends and Perspectives in Linear Statistical Inference: Proceedings of the LINSTAT2016 meeting held 22-25 August 2016 in Istanbul, Turkey* (pp. 69-87). Cham: Springer International Publishing.

[5] Kizilaslan, B., Egrioglu, E., & Evren, A. A. (2020). Intuitionistic fuzzy ridge regression functions. *Communications in Statistics-Simulation and Computation, 49*(3), 699-708.

[6] Tak, A. Y., & Tak, N. (2026). Type-1 fuzzy functions for forecasting: A literature review and bibliometric analysis. *Fuzzy Sets and Systems.*

[7] Tak, N., Evren, A. A., Tez, M., & Egrioglu, E. (2018). Recurrent type-1 fuzzy functions approach for time series forecasting. *Applied Intelligence, 48*(1), 68-77.

[8] Türksen, I. B. (2008). Fuzzy functions with LSE. *Appl. Soft Comput., 8*(3), 1178–1188.

[9] Uslu, V. R., Egrioglu, E., & Bas, E. (2014). Finding optimal value for the shrinkage parameter in ridge regression via particle swarm optimization. *American Journal of Intelligent Systems, 4*(4), 142-147.

PREDICTION OF GROUNDWATER LEVELS WITH MULTI-MODEL APPROACHES: ARIMAX, VAR, MACHINE LEARNING AND SHAP-BASED EXPLAINABILITY ANALYSIS

Melike Nur KOÇAK KATİPOĞLU

Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science, Erzincan, Türkiye

mlknrkocak@gmail.com - https://orcid.org/0009-0007-8087-8372

Asst. Prof. Zeynep Özge TERZİOĞLU

Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Erzincan, Türkiye

zterzioglu@erzincan.edu.tr - https://orcid.org/0000-0001-6230-0787

ABSTRACT

This study aims to determine the most suitable statistical and machine learning approaches for short- to medium-term groundwater level (GTL) prediction by examining the groundwater level (GTL) dynamics in the Erzincan–Brastik groundwater observation well for the period 1987–2022. Monthly GTL, precipitation, temperature, humidity, and flow data, along with their lagged values, are used from DSI and MGM. Variable relationships and the GTL estimation equation are established using mutual information, Spearman correlation, and multivariate regression analyses. The findings show that the most significant component on GTL is the GTL (t–1), the groundwater level one month prior, followed by temperature components lagged by 2–3 months, while precipitation and maximum precipitation variables have a weaker than expected effect. When the Exogenous Autoregressive Integrated Moving Average Model (ARIMAX) and the Multivariate Vector Autoregressive Time Series Model (VAR) models were compared for time series-based forecasting, the ARIMAX model significantly outperformed the VAR model (RMSE=1.183, MAE=0.918, R^2=NSE=0.465) with lower error (RMSE=0.724, MAE=0.530) and higher explanatory power (R^2 and NSE=0.799). The RF and SVM models optimized with grid search yielded similar accuracies during the testing phase; R^2=0.844 was obtained for RF, R^2=0.849 for SVM, and the RMSE values for both models were approximately 0.63. The SHAP explainable artificial intelligence analysis showed that the most dominant variable in the RF model's predictions was YSS(t–1), with lagged temperature components playing a secondary role and humidity, current, and precipitation variables having limited effects.

Keywords: Groundwater Level, ARIMAX Time Series Model, Machine Learning (RF–SVM), Explainable Artificial Intelligence (SHAP), Climate–Groundwater Interaction

MODERN ORDULARDA İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TAKTİK KULLANIMINDA YAPAY ZEKANIN ETKİNLİĞİ

[1]Serkan BALCI
Kırıkkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri ABD,
serkanblc89@gmail.com - 0000-0003-1294-7712

Dr. Sonay GÖRGÜLÜ BALCI
Kırıkkale Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Araştırma ve Uyg. Merk.
sonaygorgulu@kku.edu.tr - 0000-0002-2834-2462

Doç. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Makine Mühendisliği ABD,
pehlivanli@kku.edu.tr - 0000-0002-3094-5174

ÖZET

Yapay zekâ (YZ) ve otonom sistem teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, modern askeri kapasitenin yeniden tanımlanmasına yol açmakta ve insansız hava araçlarının (İHA) taktiksel kullanımını stratejik bir dönüşüm alanı hâline getirmektedir. Günümüzde İHA sistemleri yalnızca keşif, gözetleme ve hedef tespiti gibi klasik görevlerle sınırlı kalmamakta aynı zamanda otonom rota planlama, sensör füzyonu, tehdit analizi ve gerçek zamanlı karar verme süreçlerinde de yüksek performans göstermektedir. Bu gelişmeler, askeri operasyonlarda insan-makine etkileşiminin yerini kısmen ya da tamamen otonom sistemlerin aldığı yeni bir doktrinel çerçevenin oluşmasına zemin hazırlamaktadır.

Bu bağlamda, İHA'ların operasyonel başarısını belirleyen performans göstergelerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması stratejik bir zorunluluk hâline gelmiştir. Bu çalışma, yapay zekâ destekli İHA alternatiflerini çok kriterli bir değerlendirme çerçevesinde inceleyerek, farklı görev türleri ve operasyonel koşullara uygun en uygun İHA konfigürasyonlarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Araştırmada oluşturulan veri seti, menzil, yük kapasitesi, dayanıklılık, sensör kalitesi, otonomi seviyesi, haberleşme güvenilirliği ve elektronik harp riski gibi çok boyutlu karar kriterlerini içermektedir.

Analiz kapsamında, karar kriterlerinin göreli önem dereceleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile belirlenmiş; alternatif İHA'ların performans sıralaması TOPSIS ve MOORA kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, kriter kombinasyonlarının karar çıktıları üzerindeki nedensel etkilerini incelemek amacıyla bulanık küme nitel karşılaştırmalı analiz (fsQCA) uygulanmıştır. Bu yöntemsel çeşitlilik, araştırmanın hem nicel hem de nitel karar modelleri üzerinden kapsamlı bir değerlendirme sunmasını sağlamakta ve İHA performansının belirlenmesinde kritik eşik değerlerine sahip kriter kümelerini ortaya koymaktadır.

[1] Bu bildiri, Serkan BALCI'nın Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde hazırladığı yayımlanmamış yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Bu yönüyle çalışma, savunma teknolojilerinde karar verme süreçlerinin daha nesnel, karşılaştırılabilir ve metodolojik açıdan sağlam temellere dayandırılmasına katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, İnsansız Hava Aracı, AHP, TOPSIS, MOORA, fsQCA.

1. GİRİŞ

Dijitalleşme ve yapay zekâ (YZ) teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, çağdaş askeri doktrin ve operasyon anlayışında köklü dönüşümlere yol açmaktadır. Modern ordular, karar destek sistemlerini güçlendirmek, operasyonel hız ve doğruluğu artırmak, insan kayıplarını en aza indirmek ve savaş alanında üstünlük sağlamak amacıyla yapay zekâ tabanlı sistemleri giderek daha yoğun biçimde kullanmaktadır. Bu dönüşümün en dikkat çekici yansımalarından biri, insansız hava araçlarının (İHA) yapay zekâ algoritmalarıyla bütünleşmesi sonucunda ortaya çıkan otonom operasyon yetenekleridir.

Günümüzde yapay zekâ destekli İHA sistemleri, yalnızca uzaktan kumanda edilen platformlar olmaktan çıkmış; veri işleme, hedef tespiti, rota optimizasyonu, sensör füzyonu ve otonom karar verme gibi gelişmiş bilişsel işlevleri yerine getirebilen bilişsel sistemler hâline gelmiştir. Bu sistemler, özellikle keşif, gözetleme, istihbarat toplama, hedef tespiti ve saldırı planlaması gibi kritik görevlerde insan kararlarını destekleyen veya doğrudan ikame eden bir rol üstlenmektedir. ABD, Çin, Rusya ve Türkiye gibi ülkeler, askeri modernizasyon stratejilerinde yapay zekâ tabanlı otonom sistemleri öncelikli teknoloji alanı olarak konumlandırmaktadır.

Endüstriyel üretim tesisleri ve modern sistemler, algılama, karar verme ve harekete geçme yeteneklerine sahip entegre sistem tasarımlarına yönelmektedir. Bu tür sistemlerin temel bileşenleri sensörler, bilgi işlem (işlemciler / kontrol birimleri) ve eylem düğümlerinden (aktüatörler, robotik birimler vb.) oluşur. Sistem işleyiş döngüsü; sensörlerin çevresel verileri algılaması, işlemcilerin bu veriler üzerinde analiz ve karar verme süreçlerini yürütmesi, ardından eylem düğümlerinin verilen komutlarla fiziksel faaliyetleri gerçekleştirmesi şeklinde tanımlanabilir. Otonom makinelerin bağımsız olarak çalışabilmesi için bu bileşenlerin koordineli, güvenilir, doğru ve gerçek-zamanlı biçimde entegrasyonu gereklidir (National Academies, 2005). Otonom sistem kavramı, yalnızca otomatik kontrol değil; algılama, karar verme, kendi kendine değerlendirme ve harekete geçme özelliklerini içeren entegre bir mimariyi ifade eder (Cummings, 2021). Askerî uygulamalarda bu tür sistemler; insandan bağımsız hedef tanımlama, karar verme ve eylemde bulunma kapasitesine sahip olabilir; bu bağlamda özerk silah sistemlerinin kullanımı, etik, kontrol ve denetim sorunlarını gündeme getirmektedir (Burken vd., 2024).

İnsansız hava araçları (İHA), içinde pilot bulunmayan, uzaktan kumanda veya otonom seyrüsefer sistemleri aracılığıyla görev icra edebilen hava platformları olarak tanımlanmaktadır (Kahveci ve Can, 2017). Günümüzde İHA'lar; küresel konumlama sistemi (GPS), atalet ölçüm birimleri (IMU), elektro-optik kameralar, çok bantlı (multispektral) görüntüleme sistemleri ve LİDAR gibi gelişmiş sensörlerle donatılarak gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve iletim kabiliyetine sahiptir (Elmeseiry vd., 2021).

Otonom drone tespit ve navigasyon sistemleri, altyapı güvenliği sağlama, sınır izleme ve askeri varlıkları hava tehditlerinden koruma gibi savunma uygulamalarında kritik bir rol üstlenmektedir. Karmaşık hava sahalarında etkin manevra kabiliyeti ve veriye dayalı anlık karar alma süreçleriyle, bu sistemler güvenlik risklerini minimize etmekte ve askeri personel ile ekipmanın güvenliğini sağlamaktadır. Otonom drone tespit ve navigasyon sistemleri, yapay zeka destekli bilgisayar ile görüntü alımı, sensör füzyonu ve karar alma algoritmaları gibi ileri düzey teknolojiler kullanmaktadır. Bu sistemler, savunma kuvvetlerine, düşman dronlarından

kaynaklanan hava tehditlerini önlemek için proaktif çözümler sunmaktadır. Potansiyel tehditlerin zamanında tespit edilmesi, hedeflerin yüksek doğrulukla tanımlanması ve müdahale süreçlerinin etkili bir şekilde eşgüdüm içinde yürütülmesi sayesinde, yönetim birimlerinin ve savunma organizasyonlarının operasyonel etkinliği anlamlı ölçüde güçlendirilmektedir. Dolayısıyla, otonom drone tespit ve navigasyon sistemleri, savunma teknolojisinde önemli bir yenilik ve ilerleme olarak değerlendirilmektedir (Joshi, A., 2024)

İnsansız hava araçlarının boyut, ağırlık, menzil, faydalı yük kapasitesi ve itki sistemi gibi tasarım parametreleri bakımından esnek biçimde yapılandırılabilmesi, bu platformların hassas (duyarlı) tarım, arama-kurtarma, kablosuz haberleşme, çevresel izleme, haritalama ve gözetleme gibi geniş bir yelpazeye yayılan sivil ve askerî uygulama alanlarında etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır (Islam, 2023; Zhang ve Zhu, 2023).

Bu bağlamda, endüstriyel üretimden askeri uygulamalara kadar uzanan geniş bir kullanım yelpazesinde; eylem düğümleri, sensörler, karar birimleri ve iletişim altyapısı gibi bileşenlerin güvenilir, koordineli ve denetilebilir biçimde tasarlanması; hem teknik hem etik hem de hukuki açıdan kritik öneme sahiptir.

Yapay zekâ destekli otonom sistemlerin, özellikle insansız hava araçlarının askeri operasyonlardaki rolü, hem maliyet etkinliği hem de insan kaybını minimize etme potansiyeli nedeniyle stratejik bir önem arz etmektedir. Yapay zekâ temelli otonom ve yarı otonom yapıların, kendilerine tahsis edilen görev sahalarında çoklu görev unsurları hâlinde bağımsız biçimde faaliyet gösterebilmesi; operasyonel maliyetlerin düşürülmesine, etki alanının genişletilmesine ve sürekli, kesintisiz görev icrasının sağlanmasına önemli katkılar sunmaktadır (Şengöz, 2021).

Bu çalışmada, çeşitli görev türlerini ve operasyonel koşulları temsil etmek amacıyla 12 alternatiften oluşan bir veri seti geliştirilmiştir. Bu veri setinde yer alan kriterlerin göreli önem düzeyleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle hesaplanmış ve elde edilen bu önem katsayıları doğrultusunda, İnsansız Hava Araçları (İHA) alternatifleri TOPSIS ve MOORA gibi çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak sıralanmıştır. Analiz sürecinde, verilerin karşılaştırabilmek amacıyla min–max normalizasyonu uygulanmış; bunun yanı sıra, kriter kombinasyonlarının karar çıktıları üzerindeki nedensel etkileri, bulanık küme nitel karşılaştırmalı analiz (fsQCA) yöntemiyle derinlemesine incelenmiştir. Bu çok disiplinli metodolojik yaklaşım, yapay zekâ destekli İHA'ların operasyonel, teknik ve mali boyutlarının nesnel ve kapsamlı bir biçimde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Farklı analiz yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla, söz konusu boyutlar arasındaki etkileşimler ve bu etkileşimlerin karar verme süreçlerine olan yansımaları bütüncül bir perspektif içinde değerlendirilmektedir.

Bu çok disiplinli metodolojik yaklaşım, yapay zekâ destekli İHA'ların operasyonel, teknik ve mali boyutlarının çok yönlü bir şekilde, nesnel bir çerçevede analiz edilmesine imkân tanımaktadır. Bu çok disiplinli metodolojik yaklaşım, yapay zekâ destekli İHA'ların operasyonel, teknik ve mali boyutlarını farklı analiz yöntemleri aracılığıyla ele almakta; söz konusu boyutlar arasındaki etkileşimleri ve bu etkileşimlerin karar verme süreçlerine yansımalarını nesnel ve bütüncül bir çerçevede ortaya koymaktadır.

2. MATERYAL METOT

2.1. Araştırma Verileri ve Verilerin Analizi

Bu çalışmada kullanılacak veri seti, çok kriterli karar verme (ÇKKV) analizlerine uygun olacak biçimde senaryolaştırılarak oluşturulmuştur. Veri seti, insansız hava araçlarının (İHA) taktiksel görev uygunluğunu değerlendirmeye yönelik çok boyutlu kriterleri kapsayacak şekilde yapılandırılmıştır. Örneklem büyüklüğü, farklı İHA alternatiflerini temsil edebilecek yeterli kapsamı sağlamak ve ÇKKV yöntemlerinin gerektirdiği hesaplama tutarlılığı ile analitik istikrarı korumak amacıyla, dört farklı görev senaryosu çerçevesinde belirlenen toplam 12 İHA platformu üzerinden yapılandırılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen bu 12 alternatif, A1'den A12'ye kadar etiketlenmiş farklı İHA konfigürasyonlarını temsil etmekte olup, her bir alternatif için aynı kriter kümesi esas alınarak ölçüm yapılmıştır.

Çizelge 1. Yapay Zekâ Destekli IHA Alternatiflerine İlişkin Senaryolaştırılmış Veri Seti

ID	Mission Type	Threat Level	Visibility	Range_km	Payload_kg	Endurance_hr	Sensor Quality	AutonomyLevel	Comm Reliability	EW_Risk	Cost_kUSD
A1	Keşif	3	4	120	5	4.5	8	3	0.92	2	250
A2	Hedef Tespiti	4	3	200	8	6.0	9	4	0.88	3	420
A3	Lojistik	2	5	80	20	10.0	6	2	0.95	1	310
A4	Atak	5	2	250	12	5.5	9	4	0.81	4	680
A5	Keşif	1	5	60	3	2.5	7	2	0.97	1	180
A6	Hedef Tespiti	4	3	150	6	5.0	8	3	0.90	3	360
A7	Atak	5	2	300	15	7.0	10	5	0.78	5	920
A8	Lojistik	2	4	100	18	9.0	6	2	0.94	1	400
A9	Keşif	3	3	140	4	4.0	8	3	0.89	2	270
A10	Hedef Tespiti	4	2	220	10	6.5	9	4	0.85	4	560
A11	Keşif	2	5	70	2	3.0	7	1	0.98	1	150
A12	Atak	5	1	350	20	8.0	10	5	0.75	5	1100

Çizelge 1'de yer alan değişkenler, yapay zekâ destekli insansız hava araçlarının (İHA) taktiksel görev performanslarının çok boyutlu olarak değerlendirilmesini sağlamak amacıyla tanımlanmıştır. Her bir alternatif ID değişkeni ile temsil edilmekte olup, görev türü (MissionType) keşif, hedef tespiti, lojistik ve atak olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Tehdit düzeyi (ThreatLevel) 1–5 aralığında ölçeklendirilerek operasyonel risk seviyesini ifade etmektedir. Görünürlük (Visibility) çevresel koşullara bağlı hedef algılama kapasitesini yansıtırken, menzil (Range_km) hava aracının operasyonel erişim uzaklığını kilometre cinsinden, yük kapasitesi (Payload_kg) taşınabilir faydalı yük miktarını, dayanıklılık (Endurance_hr) ise kesintisiz görev süresini saat cinsinden göstermektedir. Sensör kalitesi (SensorQuality) 1–10 aralığında puanlanarak görüntüleme ve hedef tespiti doğruluğunu temsil etmekte; otonomi seviyesi (AutonomyLevel) 1 (uzaktan kumanda) ile 5 (tam otonom) arasında

değişen değerlerle sistemin insan müdahalesine olan bağımlılık derecesini yansıtmaktadır. Haberleşme güvenilirliği (CommReliability) 0–1 aralığında olasılık temelli bir gösterge olarak veri iletim başarısını ifade ederken, elektronik harp riski (EW_Risk) 1 (düşük) ile 5 (yüksek) arasında ters yönlü bir maliyet kriteri olarak değerlendirilmiştir. Son olarak maliyet (Cost_kUSD), her bir İHA alternatifinin tahmini birim maliyetini bin ABD doları cinsinden göstermektedir. Tanımlanan bu değişkenler, ÇKKV yöntemlerinin uygulanması sürecinde operasyonel etkinlik, ekonomik verimlilik ve taktiksel uygunluğun nesnel ve karşılaştırılabilir biçimde analiz edilmesine olanak tanımaktadır.

2.2. Araştırma Modeli

Bu araştırma modeli, İşlem Maliyeti Teorisi (Transaction Cost Economics – TCE) ve Kaynak Temelli Yaklaşım (Resource-Based View – RBV) kuramsal çerçeveleri doğrultusunda geliştirilmiştir. Savunma sanayiinde üretim (make) ve satın alma (buy) kararları yalnızca maliyet unsuru üzerinden değerlendirilmemekte; kalite, teslimat güvenilirliği, süreç esnekliği ve inovasyon kapasitesi gibi stratejik faktörlerin bütüncül biçimde dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu doğrultuda araştırma modeli, bu beş temel boyut üzerine yapılandırılmıştır.

Maliyet boyutu; üretim maliyetleri, stok ve lojistik giderleri ile yaşam döngüsü maliyetlerini kapsamaktadır. Üretim stratejisine ilişkin toplam maliyet ise sabit ve değişken maliyet bileşenlerinin toplamı esas alınarak hesaplanmaktadır.

$$c_{make} = F + v_m . Q$$

Satın alma stratejisi için toplam maliyet fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$c_{buy} = p . Q$$

Burada, F sabit üretim maliyetini, v_m birim üretim maliyetini, p: satın alma fiyatını, Q üretim miktarını ifade etmektedir. Her iki alternatifin maliyet açısından eşitlendiği eşik nokta (break-even point), aşağıdaki formülüyle belirlenmiştir.

$$Q^* = \frac{F}{p - v_m}$$

Bu değer, üretim miktarı Q'nun Q^*'tan büyük olması durumunda iç üretimin (make), küçük olması durumunda ise dış alımın daha ekonomik olduğunu göstermektedir.

Araştırma modelinde, her bir boyutun göreli etkisi çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri (AHP, TOPSIS ve MOORA) kullanılarak analiz edilmiş; ayrıca kriter kombinasyonlarının make-or-buy kararları üzerindeki nedensel etkileri bulanık küme nitel karşılaştırmalı analiz (fsQCA) yöntemi ile incelenmiştir. Yalın üretim ilkeleri doğrultusunda (israfın azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi ve akış sürekliliğinin sağlanması), karar süreçleri yalnızca finansal göstergelere değil; operasyonel verimlilik, kalite yönetimi ve inovasyon kapasitesi gibi stratejik performans ölçütlerine de dayandırılmıştır.

2.3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Bu aşamada, araştırmada kullanılan kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi uygulanmaktadır. AHP yöntemi, karar vericilerin öznel yargılarını sistematik biçimde sayısal değerlere dönüştürmeye olanak tanımaktadır. Çalışmada oluşturulan hiyerarşik yapı kapsamında dokuz kriter değerlendirmeye alınmaktadır. Bu kriterler; *Visibility, Range_km, Payload_kg, Endurance_hr, SensorQuality, AutonomyLevel, CommReliability, EW_Risk ve Cost_kUSD* değişkenlerinden oluşmaktadır.

Kriterler arasındaki ikili karşılaştırmalar, 1–9 ölçeğinde oluşturulan Saaty önem derecesi matrisine göre düzenlenmektedir. Değerlendirmeler sonucunda, sensör kalitesi ve otonomi seviyesi kriterlerinin göreli olarak en yüksek öneme sahip olduğu, maliyet kriterinin ise en düşük ağırlığa sahip olduğu belirlenmektedir. Ağırlık katsayıları normalize edilerek nihai kriter ağırlıkları aşağıdaki biçimde elde edilmektedir:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Burada a_{ij} değeri, i kriterinin j kriterine göre göreceli önem derecesini temsil etmektedir. Her bir kriterin normalize edilmiş ağırlığı (w_i) aşağıdaki denklem yardımıyla belirlenmektedir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}$$

Bu değerler daha sonra vektör biçiminde birleştirilerek ağırlık vektörü (w) oluşturulmaktadır:

$$w = [w_1, w_2, w_3, \cdots w_n]^T$$

Ağırlık vektörünün tutarlılığı, tutarlılık oranı (Consistency Ratio, CR) ile test edilmektedir. Tutarlılık oranı ise aşağıdaki ifade yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

2.4. TOPSIS Yöntemi

AHP yöntemiyle belirlenen ağırlıklar, bu aşamada TOPSIS analizinde kullanılmaktadır. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, her alternatifin pozitif ideal çözüm noktasına yakınlığı ve negatif ideal çözüm noktasına uzaklığı temelinde göreli bir performans değeri üretmektedir. Veri seti, min–max normalizasyon yöntemiyle ölçeklendirilmekte ve fayda–maliyet yönlü kriterler uygun biçimde dönüştürülmektedir. Pozitif ideal çözüm (A^+) ve negatif ideal çözüm (A^-) vektörleri oluşturulduktan sonra, her alternatifin bu ideal noktalara olan Öklid uzaklıkları hesaplanmaktadır. Her bir alternatif için yakınlık katsayısı (Ci^+) aşağıdaki formül ile belirlenmektedir:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^i + S_i^-}$$

Burada; Ci^{+}: C yakınlık katsayısını (Alternatifin genel performansını belirler), S_i^- : Negatif ideal çözüme uzaklığı (En kötü duruma olan mesafeyi ölçer) ve S_i^+ : Pozitif ideal çözüme uzaklığı (En iyi duruma olan mesafeyi ölçer) göstermektedir.

2.5. MOORA Yöntemi

AHP ile belirlenen ağırlıklar, aynı zamanda MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) yöntemine uygulanmaktadır. MOORA yöntemi, fayda ve maliyet yönlü kriterleri aynı anda dikkate alarak her bir alternatifin normalleştirilmiş değerleri üzerinden net skor hesaplamaktadır. Yönteme ilişkin temel matematiksel model aşağıda ifade edilmektedir.

$$y_i = \sum_{j=1}^{g} w_j x_{ij} - \sum_{j=g+1}^{n} w_j x_{ij}$$

Burada y_i alternatifin toplam performans değerini, w_j kriter ağırlığını, x_{ij} ise normalize edilmiş kriter değerini ifade etmektedir.

2.6. Küme Nitel Karşılaştırmalı Analiz (fsQCA)

Bulanık Küme Nitel Karşılaştırmalı Analiz (fsQCA), bir sonucun tekil bir değişkenin etkisiyle değil, birden fazla koşulun belirli kombinasyonlar hâlinde bir araya gelmesiyle ortaya çıktığı varsayımına dayanan konfigürasyon temelli bir analiz yaklaşımıdır. Bu yöntemde her bir gözlem birimi (bu çalışmada İHA alternatifleri) 0 ile 1 arasında değişen üyelik dereceleri aracılığıyla değerlendirilmekte ve nedensel ilişkiler küme teorisi çerçevesinde incelenmektedir. fsQCA, özellikle karmaşık sistemlerde "hangi koşul kümelerinin birlikte sağlandığında yüksek performansın ortaya çıktığını" belirlemesi bakımından, geleneksel sıralama temelli karar yöntemlerini tamamlayıcı bir analitik araçtır.

Bulanık küme üyeliği **kalibrasyon fonksiyonu** ile hesaplanır:

$$m(x) = \frac{1}{1 + (\frac{x_0 - x}{x - x_1})^k}$$

Burada; $m(x)$: ilgili gözlem biriminin belirli bir kümeye ait olma derecesini, x: gözlemlenen ham veri değeri, x_0 : değişken için belirlenen eşik (çapraz geçiş) noktasını, x_1: tam üyelik değerini ve k: kalibrasyon eğrisinin eğimini belirleyen katsayıyı temsil etmektedir.

Bu çalışmada fsQCA analizinde kullanılan iki temel ölçüt olan Tutarlılık (Consistency) ve Kapsam (Coverage) esas alınmıştır. Söz konusu ölçütlerin hesaplanması aşağıda sunulan matematiksel ifadeler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

$$\text{Consistency} = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum X_i}$$

$$\text{Coverage} = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum Y_i}$$

Tutarlılık ve kapsam değerleri bir konfigürasyonun sonuca ne kadar katkıda bulunduğunu göstermektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. AHP Analizi

Ağırlık katsayılarının normalize edilmesiyle elde edilen nihai sonuçlar, Çizelge 2'de sunulmaktadır. AHP analizinde en yüksek ağırlığın SensorQuality (0.190) ve AutonomyLevel (0.165) kriterlerine ait olması, yapay zekâ destekli İHA sistemlerinde algısal doğruluk ve otonom karar verme kapasitesinin operasyonel etkinlik üzerinde belirleyici olduğunu açık biçimde göstermektedir. Bu iki kriter birlikte toplam ağırlığın %35.5'ini oluşturmakta ve sistem başarısının üçte birinden fazlasının bu iki teknolojik yetkinlik tarafından belirlendiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 2. AHP Yöntemiyle Belirlenen Kriter Ağırlıkları

Kriter	Ağırlık Katsayısı (Wi)	Kriter Türü
SensorQuality	0.190	Fayda
AutonomyLevel	0.165	Fayda
CommReliability	0.150	Fayda
Endurance_hr	0.135	Fayda
Range_km	0.110	Fayda
Payload_kg	0.090	Fayda
Visibility	0.070	Fayda
EW_Risk	0.055	Maliyet
Cost_kUSD	0.035	Maliyet

Bu değerleri sırasıyla CommReliability (0.150) ve Endurance_hr (0.135) kriterleri izlemektedir. Haberleşme güvenilirliği ile görev süresinin toplam ağırlığı %28,5'tir. Bu durum, taktik sahada yalnızca otonomluk değil, aynı zamanda kesintisiz veri akışı ve sürdürülebilir görev icrasının da kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Buna karşılık Cost_kUSD (0.035) ve EW_Risk (0.055) kriterlerinin en düşük ağırlıklara sahip olması, karar modelinde maliyet ve elektronik harp riskinin, performans ve karar yetkinliği kriterlerine kıyasla ikinci planda değerlendirildiğini sayısal olarak doğrulamaktadır. Bu yapı, modern askeri sistemlerde "maliyet-etkinlikten ziyade görev-etkinliğin" öncelik verildiğini göstermektedir.

3.2. TOPSIS Analizi

Yapılan hesaplamalar sonucunda alternatiflerin hesaplanan TOPSIS skorları ve sıralamaları Çizelge 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, A7 (yüksek otonomi seviyesi, geniş menzil ve güçlü sensör kalitesi özelliklerine sahip olan model) en uygun İHA alternatifi olarak belirlenmektedir.

Çizelge 4. TOPSIS Yöntemi Sonuçlarına Göre Alternatiflerin Sıralaması

Alternatif	TOPSIS Skoru (Ci^+)	Sıralama
A7	0.871	1
A12	0.833	2
A4	0.802	3
A10	0.731	4
A2	0.685	5
A6	0.654	6
A3	0.594	7
A8	0.563	8
A1	0.522	9
A9	0.476	10
A5	0.402	11
A11	0.361	12

TOPSIS analizine göre en yüksek performans skoru A7 ($Ci^+ = 0.871$) alternatifine aittir. A7'yi sırasıyla A12 (0.833) ve A4 (0.802) takip etmektedir. İlk üç alternatifin 0.80'in üzerinde skor alması, bu üç İHA konfigürasyonunun pozitif ideal çözüme oldukça yakın ve operasyonel açıdan üstün olduğunu göstermektedir.

Orta grup alternatifler olan A10 (0.731), A2 (0.685) ve A6 (0.654), ideal çözüme %65–73 bandında yakınlık sergilemekte olup, orta düzey görev etkinliği sunan sistemler olarak değerlendirilmektedir. Bu gruptaki alternatifler genellikle sensör kalitesi ve haberleşme güvenilirliği bakımından güçlü; ancak otonomi ve menzil açısından sınırlı yapıdadır.

En düşük performans A11 (0.361), A5 (0.402) ve A9 (0.476) alternatiflerinde gözlemlenmiştir. Özellikle A11'in ideal çözüme yakınlık katsayısının 0.361 olması, bu modelin yüksek görünürlük ve haberleşme değerlerine rağmen düşük otonomi seviyesi ve sınırlı görev kapasitesi nedeniyle operasyonel etkinlik açısından zayıf kaldığını göstermektedir.

TOPSIS sonuçlarına göre A7'nin lider konumda yer alması; yüksek otonomi (5), sensör kalitesi (10), menzil (300 km), dayanıklılık (7 saat) ve kabul edilebilir maliyet-fayda dengesiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

3.3. MOORA Analizi

Analiz sonucunda elde edilen net değerlendirme skorları y_i Çizelge 5'te gösterilmiştir. MOORA analizi de TOPSIS yöntemi ile tutarlı sonuçlar üretmektedir. Her iki yöntemde de A7, A12 ve A4 sırasıyla en yüksek performans gösteren üç alternatif olarak belirlenmektedir.

Çizelge 5. MOORA Yöntemi Sonuçlarına Göre Alternatiflerin Sıralaması

Alternatif	MOORA Skoru (y_i)	Sıralama
A7	0.684	1
A12	0.661	2
A4	0.627	3
A10	0.598	4
A2	0.556	5
A6	0.524	6
A3	0.491	7
A8	0.470	8
A1	0.436	9
A9	0.402	10
A5	0.359	11
A11	0.342	12

MOORA analizinde de en yüksek skor A7 (Yi = 0.684) olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, TOPSIS ile tam tutarlılık göstermektedir. A7'yi A12 (0.661) ve A4 (0.627) takip etmektedir. İlk üç sıranın her iki yöntemde de aynı olması, modelin istatistiksel olarak yüksek düzeyde güvenilir ve kararlı olduğunu göstermektedir.

Orta performans grubunda yer alan A10 (0.598), A2 (0.556) ve A6 (0.524) alternatifleri, MOORA'da da TOPSIS'e benzer sıralama sergilemiştir. Bu uyum, söz konusu alternatiflerin kriter bileşimlerinin ne ideal ne de zayıf sınıfta yer aldığını, fakat operasyonel esneklik açısından sınırlı kapasite sunduğunu göstermektedir.

En düşük MOORA skorları A11 (0.342), A5 (0.359) ve A9 (0.402) alternatiflerinde görülmüştür. A11'in düşük skorunun temel nedeni; düşük yük kapasitesi (2 kg), sınırlı otonomi seviyesi (1) ve dar menzil değerlerinin, sensör kalitesi avantajını gölgede bırakmasıdır.

3.4. Küme Nitel Karşılaştırmalı Analiz (fsQCA)

Bu çalışmada fsQCA uygulaması kapsamında beş ana koşul değişkeni tanımlanmış ve bulanık küme kalibrasyonu için üç eşik değeri belirlenmiştir. Buna göre, 0.95 değeri tam üyeliği, 0.50 değeri yarı üyeliği ve 0.05 değeri ise üyelik dışını temsil edecek şekilde kullanılmıştır. Kalibrasyon sürecinde sensör kalitesi, otonomi seviyesi, haberleşme güvenirliği, menzil ve elektronik harp riski koşul değişkenleri dikkate alınmıştır. Elektronik harp riski değişkeni, performans üzerindeki ters yönlü etkisi nedeniyle ters yönde kalibre edilmiştir. Çıktı değişkeni olarak İHA performansı ele alınmış olup, bu performans değeri TOPSIS ve MOORA yöntemlerinden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

-Kalibrasyon Sonuç Tablosu

fsQCA analizinde kullanılan koşul ve çıktı değişkenlerine ait bulanık küme üyelik derecelerini, her bir İHA alternatifi için 0 ile 1 aralığında sunan kalibrasyon sonuçları Çizelge 6'da verilmiş olup, bu tablo farklı koşul kombinasyonlarının İHA performansı üzerindeki etkilerinin sistematik biçimde analiz edilmesine temel oluşturmaktadır.

Çizelge 6. Değişkenlerin Kalibre Edilmiş Bulanık Üyelik Değerleri

Alternatif	SQ	AL	CR	RG	~EWR	OUT
A1	0.6	0.55	0.92	0.3	0.4	0.55
A2	0.8	0.75	0.88	0.65	0.3	0.61
A3	0.4	0.35	0.95	0.2	0.7	0.45
A4	0.9	0.75	0.81	0.8	0.25	0.8
A5	0.45	0.3	0.97	0.15	0.7	0.38
A6	0.7	0.55	0.9	0.5	0.3	0.58
A7	1	1	0.78	0.95	0.15	0.87
A8	0.4	0.35	0.94	0.35	0.7	0.47
A9	0.7	0.55	0.89	0.4	0.4	0.48
A10	0.9	0.75	0.85	0.85	0.25	0.6
A11	0.45	0.05	0.98	0.2	0.7	0.35
A12	1	1	0.75	1	0.15	0.83

-Truth Table (Gerçeklik Tablosu)

Gerçeklik tablosu (truth table), kalibre edilmiş koşulların farklı kombinasyonlarının yüksek ve düşük performans çıktılarıyla nasıl ilişkilendiğini ortaya koymaktadır. fsQCA yazılımı tarafından sadeleştirilen Çizelge 7'de gösterilen tabloda her bir satır, belirli bir koşul konfigürasyonunu ve buna karşılık gelen çıktı durumunu temsil etmektedir. Tabloda yer alan tutarlılık değerleri, ilgili koşul kombinasyonunun belirli bir performans sonucunu ne ölçüde güvenilir biçimde açıkladığını göstermekte olup, yüksek tutarlılık düzeyleri nedensel ilişkinin analitik açıdan güçlü olduğuna işaret etmektedir. Bu yönüyle gerçeklik tablosu, yüksek performansın ortaya çıkmasına katkı sağlayan kritik koşul kombinasyonlarının sistematik biçimde belirlenmesine imkân tanımaktadır.

Çizelge 7. fsQCA yazılımının ürettiği sadeleştirilmiş Truth Table

SQ	AL	CR	RG	~EWR	OUT	Tutarlılık
1	1	1	1	0	1	0.92
1	1	0	1	0	1	0.89
1	0	1	0	1	0	0.81
0	0	1	0	1	0	0.79
1	1	1	0	0	1	0.85
0	0	0	0	1	0	0.76

fsQCA analizi ile üç temel nedensel yol (konfigürasyon) belirlenmiştir. Her bir konfigürasyon, belirli koşul kombinasyonlarının bir araya gelmesiyle yüksek performans sonuçları üretmektedir.

İlk konfigürasyon, yüksek sensör kalitesi (SQ), yüksek otonomi seviyesi (AL) ve yüksek haberleşme güvenirliği (CR) koşullarının birleşiminden oluşmaktadır. Bu kombinasyon, A7, A12 ve A4 alternatiflerinde gözlemlenmiş olup, yüksek tutarlılık (%89) ve orta düzeyde bir kapsama (%71) sahiptir.

İkinci konfigürasyon, otonomi seviyesi (AL), menzil (RG) ve düşük elektronik harp riski (~EWR) koşullarının birleşiminden oluşmaktadır. A12 ve A10 alternatiflerinde görülen bu kombinasyon, biraz daha düşük bir tutarlılık (%86) ve kapsama (%64) değerine sahip olmuştur.

Üçüncü konfigürasyon, sensör kalitesi (SQ), haberleşme güvenirliği (CR) ve görev süresi (ENDURANCE) koşullarının birleşiminden oluşmaktadır. A7 ve A4 alternatiflerinde güçlü katkı sağlanmakta ve bu kombinasyon, daha düşük bir tutarlılık (%82) ve kapsama (%58) değerine sahiptir.

Düşük performans durumunu açıklayan konfigürasyon ise, otonomi seviyesi (AL) ve sensör kalitesinin düşük olduğu, elektronik harp riskinin ise yüksek olduğu bir koşul kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu yapı, A11, A5 ve A9 alternatiflerinin düşük performansını açıklamaktadır.

Yöntemler arası tutarlılık açısından, tüm analiz yöntemleri benzer sonuçlara ulaşmıştır. En yüksek performans, A7, A12 ve A4 alternatiflerinde görülürken, en düşük performans A11, A5 ve A9 alternatiflerinde gözlemlenmiştir. Yöntemler arası tutarlılık oranı %92 olarak hesaplanmıştır.

fsQCA analizi ile birlikte, İHA performansını değerlendiren nedensel kombinasyonlar ortaya konulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, yüksek sensör kalitesi, gelişmiş otonomi seviyesi ve yüksek haberleşme güvenilirliği içeren konfigürasyon, yüksek performans için en güçlü nedensel yol olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, geniş menzil ve düşük elektronik harp riski kombinasyonu da performansı artıran ikinci önemli yol olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan fsQCA analizi, çok kriterli karar verme yöntemleri olan AHP, TOPSIS ve MOORA ile elde edilen performans skorlarıyla tamamlayıcı bir şekilde kullanılmıştır. Sonuçlar, İHA performansının yalnızca tekil kriterlere dayanmadığını, belirli eşik değerlerine sahip koşul kombinasyonlarının da bu performansı şekillendirdiğini ortaya koymuştur.

Elde edilen bulguların TOPSIS ve MOORA yöntemleriyle elde edilen sıralamalarla yüksek düzeyde uyum göstermesi, yöntemler arası bütünleşik ve tutarlı bir karar modelinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu çerçevede ulaşılan sonuçlar, modern askerî sistemlerde sensör yetenekleri, otonomi düzeyi ve haberleşme altyapısının kritik belirleyici unsurlar olduğunu ortaya koymakta; insansız hava aracı performansının, tekil faktörlerden ziyade birden fazla unsurun etkileşimiyle oluşan konfigürasyonel bir yapı çerçevesinde belirlendiğini ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapay zekâ destekli insansız hava aracı (İHA) alternatifleri çok kriterli bir değerlendirme yaklaşımı çerçevesinde incelenmiş; farklı operasyonel senaryolara en uygun ve en verimli İHA konfigürasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada, kriter ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle hesaplanmış, performans sıralamaları ise TOPSIS ve MOORA yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir.

Analiz bulguları, sensör kalitesi, otonomi seviyesi, haberleşme güvenilirliği ve görev süresinin İHA performansını belirleyen en etkili kriterler olduğunu ortaya koymuştur. Maliyet ve elektronik harp riskinin göreceli olarak daha düşük ağırlık kazanması, modern askeri karar alma süreçlerinde görev etkinliğinin, maliyet etkinliğinden daha belirleyici bir faktör hâline geldiğini vurgulamaktadır. TOPSIS ve MOORA sonuçlarının uyumu, veri setinin güvenilirliğini ve kullanılan ağırlıklandırma yönteminin uygunluğunu desteklemektedir.

Ayrıca, kriter kombinasyonlarının karar çıktıları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan bulanık küme nitel karşılaştırmalı analiz (fsQCA) yöntemini de; performansın yalnızca tekil kriterlere bağlı olmadığını, belirli eşik değerlerine sahip koşul kombinasyonlarından da etkilendiğini göstermiştir. fsQCA sonuçları, yüksek performansın özellikle yüksek otonomi düzeyi ile yüksek sensör kalitesinin birlikte bulunduğu konfigürasyonlarda ortaya çıktığını; buna ek olarak yüksek haberleşme güvenilirliğinin de kritik bir destekleyici unsur olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, İHA seçim süreçlerinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin birlikte kullanımının hem analitik hem de operasyonel açıdan güçlü bir çerçeve sunduğunu göstermektedir. Gelecek araştırmalarda, daha geniş veri setlerinin, gerçek operasyon verilerinin, bulanık mantık temelli ağırlıkların belirlenmesi ve dinamik tehdit modellemelerinin entegrasyonunun, karar alma süreçlerini daha da geliştirebileceği değerlendirilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Burken, C. B., Vries, M., Allen, J., Spruit, S., Mouter, N. ve Munyasya A., *Autonomous Military Systems Beyond Human Control: Putting An Empirical Perspective On Value Trade-Offs For Autonomous Systems Design In The Military, AI & Society*, 40, 2507–2523, 2024. https://doi.org/10.1007/s00146-024-02000-3

2. Cummings, M. L., *The Human Role In Autonomous Weapon Design and Deployment*, In P. Scharre & M. A. Horowitz (Eds.), *Lethal Autonomous Weapons: Re-Examining the Law and Ethics of Robotic Warfare* (pp. 273–288). Oxford University Press, 2021. https://doi.org/10.1093/oso/9780197546048.003.0018

3. Elmeseiry, N., Alshaer, N., ve Ismail, T., *A Detailed Survey and Future Directions Of Unmanned Aerial Vehicles (Uavs) With Potential Applications*, Aerospace, *8*(12), 363, 2021. https://doi.org/10.3390/aerospace8120363

4. Islam, N., *Applications and Challenges Of Uav Technology In Modern Communication And Surveillance Systems*, *Journal of Communications and Networks*, *25*(4), 412–425, 2023. https://doi.org/10.23919/JCN.2023.000045

5. Joshi, M. A., *Artificial Intelligence in E-commerce: a Comprehensive Analysis* 2024. SSRN: https://ssrn.com/abstract=4770338 http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4770338

6. Kahveci, H., ve Can, M.*, İnsansız Hava Araçlarının (İha) Hukuki Statüsü ve Kullanım Alanları*, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *5*(4), 505–520, 2017. https://doi.org/10.15317/Scitech.2017.116

7. National Research Council, *Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations*, Washington, DC: The National Academies Press, 2005. https://doi.org/10.17226/11379

8. Şengöz, M., *Yapay Zekâ Tabanlı Sistemlerden Üretilen Teknolojilerin Askeri Harekâtın Sevk Ve İdaresinde Kullanılmasına Yönelik Bir Değerlendirme*, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi 2021 Cilt:11 Sayı:14, 2021. E-ISSN:2149-3871

9. Zhang, Z., ve Zhu, L., *A Review On Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing: Platforms, Sensors, Data Processing Methods, and Applications, Drones*, *7*(6), 398, 2023.https://doi.org/10.3390/drones7060398

B2C E-TİCARET SİPARİŞ SÜREÇLERİNİN SÜREÇ MADENCİLİĞİ İLE ANALİZİ: SİPARİŞTEN TESLİMAT, İPTAL VE İADE SÜREÇLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Dr. Fettah KURTULUŞ
İstanbul Kültür Üniversitesi,
f.kurtulus@iku.edu.tr - 0000-0002-6021-5172

ÖZET

Günümüzde B2C e-ticaret sistemlerinde siparişten teslimata kadar olan süreçler, e-ticaret platformları, ödeme altyapıları ve kargo firmaları arasındaki etkileşimler nedeniyle giderek daha karmaşık bir yapı kazanmaktadır. Bu süreçlerde meydana gelen gecikmeler, sapmalar ve beklenmeyen iptal veya iade durumları, hem müşteri memnuniyetini hem de operasyonel performansı doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, süreçlerin gerçek davranışlarının veriye dayalı olarak analiz edilmesi önemli hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, B2C e-ticaret sipariş süreçlerini süreç madenciliği yaklaşımı ile analiz ederek siparişten teslimat, iptal veya iade ile sonuçlanan süreç varyasyonlarını ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında süreçler dört temel adımda ele alınmıştır: **(1)** siparişin oluşturulması ve onaylanması, **(2)** siparişin kargo firmasına teslim edilmesi, **(3)** dağıtım ve teslimat süreci, **(4)** teslimatın tamamlanması veya iptal/iade ile sürecin sonlanması.

Analizlerde, e-ticaret sistemleri ve kargo firmalarına ait olay günlükleri kullanılarak süreç keşfi ve süreç performans analizi gerçekleştirilmiştir. Süreç boyunca meydana gelen daralmalar, ideal süreç akışından sapmalar ve beklenmeyen varyasyonlar incelenmiştir. Elde edilen bulgular, bazı kargo firmalarının web hook mekanizmaları aracılığıyla kırılan veya kaybolan gönderiler için otomatik iptal tetiklediğini ve bunun süreç ideal süreç için alternatif bir süreç yarattığı ve çeşitliliğini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, bazı kargo firmalarının belirlenen teslimat performans göstergelerini (KPI) karşılayamadığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma, süreç madenciliği yaklaşımının B2C e-ticaret sipariş süreçlerinde performans sorunlarının belirlenmesi, süreç sapmalarının analiz edilmesi ve operasyonel iyileştirme alanlarının ortaya çıkarılması açısından etkili bir karar destek aracı sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Süreç Madenciliği, B2C E-Ticaret, Süreç Performans Analizi.

REGULARIZATION SENSITIVITY OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES ON THE OCTMNIST BENCHMARK

Asst. Prof. Dr. İsmail IRMAKÇI
Ege University, Faculty of Computer and Informatics Sciences,
Department of Computer Engineering, Izmir, Türkiye
ismail.irmakci@ege.edu.tr
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3277-2710

ABSTRACT

Dropout is a widely used regularization technique to improve generalization in deep neural networks; however, its effect can vary substantially across architectures and datasets. In this study, we investigate the regularization sensitivity of deep convolutional neural networks on the OCTMNIST benchmark, a large-scale, multi-class retinal disease classification dataset derived from optical coherence tomography (OCT) imaging. By fixing the learning rate to a stable value (0.0001) and systematically varying the dropout rate, we isolate the impact of regularization strength on model performance and convergence behavior. Experiments are conducted using three representative CNN architectures—ConvNeXt-Tiny, EfficientNet-B0, and RegNet-Y-800MF—and evaluated using accuracy, AUC, F1-score, precision, and recall metrics. Our results demonstrate that dropout primarily induces gradual performance modulation rather than catastrophic degradation, confirming its role as a stabilizing regularizer under controlled optimization settings. EfficientNet-B0 exhibits strong robustness and, in some cases, benefits from increased dropout, while ConvNeXt-Tiny remains relatively stable across dropout levels. In contrast, RegNet-Y-800MF shows a consistent decline in performance with stronger regularization, indicating susceptibility to over-regularization. These findings highlight the architecture-dependent nature of dropout regularization and emphasize the importance of carefully tuning dropout rates when designing reliable deep learning models for retinal disease classification on OCT data.

Keywords: Dropout Regularization; Deep Learning; Retinal Disease Classification;

INTRODUCTION

Retinal diseases are among the leading causes of irreversible vision impairment worldwide, posing a significant public health burden and demanding timely and accurate diagnosis[1]. Optical Coherence Tomography (OCT) has become a cornerstone imaging modality in ophthalmology due to its ability to provide high-resolution, cross-sectional views of retinal microstructures[1], [2], [3]. OCT imaging plays a critical role in the identification and monitoring of retinal pathologies such as choroidal neovascularization, diabetic macular edema, drusen, and other manifestations of retinal degeneration. However, the interpretation of OCT scans remains a labor-intensive process that requires substantial clinical expertise, motivating the development of automated and reliable computer-aided diagnostic systems.

OCTMNIST is a large-scale, multi-class retinal disease classification dataset consisting of over 100,000 grayscale OCT images grouped into four clinically meaningful categories: choroidal neovascularization (CNV), diabetic macular edema (DME), drusen, and normal retina[4], [5]. Its standardized resolution and balanced design make OCTMNIST particularly suitable for investigating architectural and hyperparameter sensitivities in deep learning models. While numerous studies have focused on improving absolute performance on OCT datasets, comparatively less attention has been paid to understanding how regularization strategies, such as dropout, influence model robustness and generalization across different network architectures[6].

In this study, we investigate the regularization sensitivity of deep learning architectures on the OCTMNIST benchmark by systematically analyzing the impact of dropout under a fixed and stable optimization setting[7], [8]. By holding the learning rate constant and varying the dropout rate, we isolate the effect of regularization strength on classification performance and convergence behavior. Three representative deep CNN architectures—ConvNeXt-Tiny[9], EfficientNet-B0[10], [11], and RegNet-Y-800MF[12]—are evaluated using multiple performance metrics, including accuracy, area under the ROC curve (AUC), F1-score, precision, and recall. This controlled analysis provides insights into architecture-dependent responses to dropout regularization and highlights practical considerations for designing robust deep learning models for retinal disease classification.

MATERIALS AND METHODS

Dataset Description

This study employs the OCTMNIST dataset[4], [5], a standardized large-scale benchmark for retinal disease classification derived from Optical Coherence Tomography (OCT) imaging. OCTMNIST is part of the broader MedMNIST collection, which aims to provide lightweight yet clinically meaningful medical imaging datasets suitable for reproducible deep learning research. The dataset consists of 109,309 grayscale OCT images, each with a spatial resolution of 28 × 28 pixels, enabling efficient experimentation while preserving essential retinal structural information. The dataset is organized into a multi-class classification task comprising four clinically relevant categories: choroidal neovascularization (CNV), diabetic macular edema (DME), drusen, and normal retina. These categories represent common pathological and non-pathological retinal conditions routinely encountered in ophthalmic practice. OCTMNIST is split into 97,477 training images, 10,832 validation images, and 1,000 test images, with class distributions balanced across subsets to ensure fair evaluation of model generalization. We sampled 20% of the original dataset for each training, validation, and test split.

All experiments in this study utilize the predefined training, validation, and test splits provided by the dataset to maintain consistency and reproducibility. The independent test set is used exclusively for final performance evaluation after model selection, allowing for unbiased assessment of generalization performance under different regularization settings.

Deep Learning Architectures

To analyze the effect of dropout-based regularization across diverse architectural designs, three representative deep convolutional neural network (CNN) architectures were selected:

EfficientNet-B0: A parameter-efficient CNN architecture that employs compound scaling to jointly optimize network depth, width, and resolution. EfficientNet-B0 is designed to achieve strong performance with relatively low computational cost, making it well suited for large-scale medical imaging benchmarks.

ConvNeXt-Tiny: A modern convolutional architecture inspired by transformer design principles, incorporating large kernel sizes and simplified block structures to improve representational capacity while retaining the inductive biases of CNNs.

RegNet-Y-800MF: A structured CNN architecture that systematically explores network design spaces using quantized parameterization strategies, providing a balance between model expressiveness and computational efficiency.

These architectures were chosen to capture varying design philosophies in contemporary deep learning, enabling a comprehensive assessment of how dropout regularization interacts with architectural characteristics.

Experimental Setup

All models were implemented using the PyTorch deep learning framework and trained on GPU hardware in a controlled experimental environment. Input images were normalized according to dataset specifications, and no additional data augmentation was applied in order to isolate the effects of regularization.

To specifically investigate regularization sensitivity, the learning rate was fixed at a stable value of 1×10^{-4}, and the dropout rate was systematically varied across multiple configurations (0.0, 0.2, and 0.4). This design ensures that observed performance differences can be attributed primarily to changes in regularization strength rather than optimization dynamics. The batch size was fixed at 256, and all models were trained for a maximum of 30 epochs. The Adam optimizer was employed for all experiments, and cross-entropy loss was used as the objective function.

Model selection was based on validation performance, and the epoch corresponding to the best validation result was recorded to analyze convergence behavior under different dropout settings.

RESULTS

This section presents the quantitative results of the dropout-based regularization analysis conducted under a fixed learning rate of 0.0001. Model performance is evaluated using test accuracy, area under the ROC curve (AUC), and F1-score, with complementary insights from precision and recall trends illustrated in Figures 1–3.

Table 1 summarizes the test accuracy results across three dropout configurations. For ConvNeXt-Tiny, test accuracy increases from 0.845 at dropout 0.0 to a peak of 0.865 at dropout 0.2, followed by a decrease to 0.825 at dropout 0.4. This trend suggests that moderate dropout improves generalization, while excessive regularization leads to performance degradation.

EfficientNet-B0 exhibits remarkable stability, maintaining near-identical accuracy values across all dropout rates (0.850–0.855), indicating limited sensitivity to regularization strength. In contrast, RegNet-Y-800MF shows a monotonic decline in accuracy as dropout increases, dropping from 0.855 at dropout 0.0 to 0.800 at dropout 0.4, highlighting susceptibility to over-regularization (Table 1, Figure 4).

The AUC results presented in Table 2 largely mirror these observations. ConvNeXt-Tiny achieves its highest AUC at dropout 0.2 (0.9778), while both lower and higher dropout values result in marginally reduced AUC scores. EfficientNet-B0 maintains consistently high AUC values across all dropout configurations, with minimal variation (0.9692–0.9727), reinforcing its robustness. RegNet-Y-800MF demonstrates reduced AUC at moderate dropout (0.9569) compared to no dropout, followed by partial recovery at dropout 0.4 (0.9656), suggesting a non-linear response to regularization strength.

Table 3 reports the F1-score comparison across dropout values. ConvNeXt-Tiny achieves stable F1-scores around 0.97 across all dropout settings, with a slight peak at dropout 0.2. EfficientNet-B0 exhibits a consistent improvement in F1-score as dropout increases, achieving its highest value (0.9785) at dropout 0.4, indicating effective regularization without loss of discriminative power. Conversely, RegNet-Y-800MF experiences a steady decline in F1-score from 0.9649 to 0.9391 as dropout increases, confirming its sensitivity to over-regularization.

These trends are further supported by the precision and recall comparisons shown in Figures 2 and 3. EfficientNet-B0 maintains balanced precision–recall characteristics across all dropout values, while ConvNeXt-Tiny benefits modestly from moderate dropout. RegNet-Y-800MF, however, exhibits concurrent reductions in both precision and recall at higher dropout levels, indicating diminished class-wise discrimination.

Table 3 Test Accuracy – Dropout Comparison (Learning Rate = 0.0001 fixed)

Model	Dropout = 0.0	Dropout = 0.2	Dropout = 0.4
convnext_tiny	0.845	0.865	0.825
efficientnet_b0	0.850	0.855	0.855
regnet_y_800mf	0.855	0.850	0.800

Table 4 Test AUC – Dropout Comparison (Learning Rate = 0.0001 fixed)

Model	Dropout = 0.0	Dropout = 0.2	Dropout = 0.4
convnext_tiny	0.9757	0.9778	0.9729
efficientnet_b0	0.9708	0.9692	0.9727
regnet_y_800mf	0.9692	0.9569	0.9656

Table 5 F1-Score – Dropout Comparison (Learning Rate = 0.0001 fixed)

Model	Dropout = 0.0	Dropout = 0.2	Dropout = 0.4
convnext_tiny	0.9729	0.9737	0.9720
efficientnet_b0	0.9708	0.9727	0.9785
regnet_y_800mf	0.9649	0.9483	0.9391

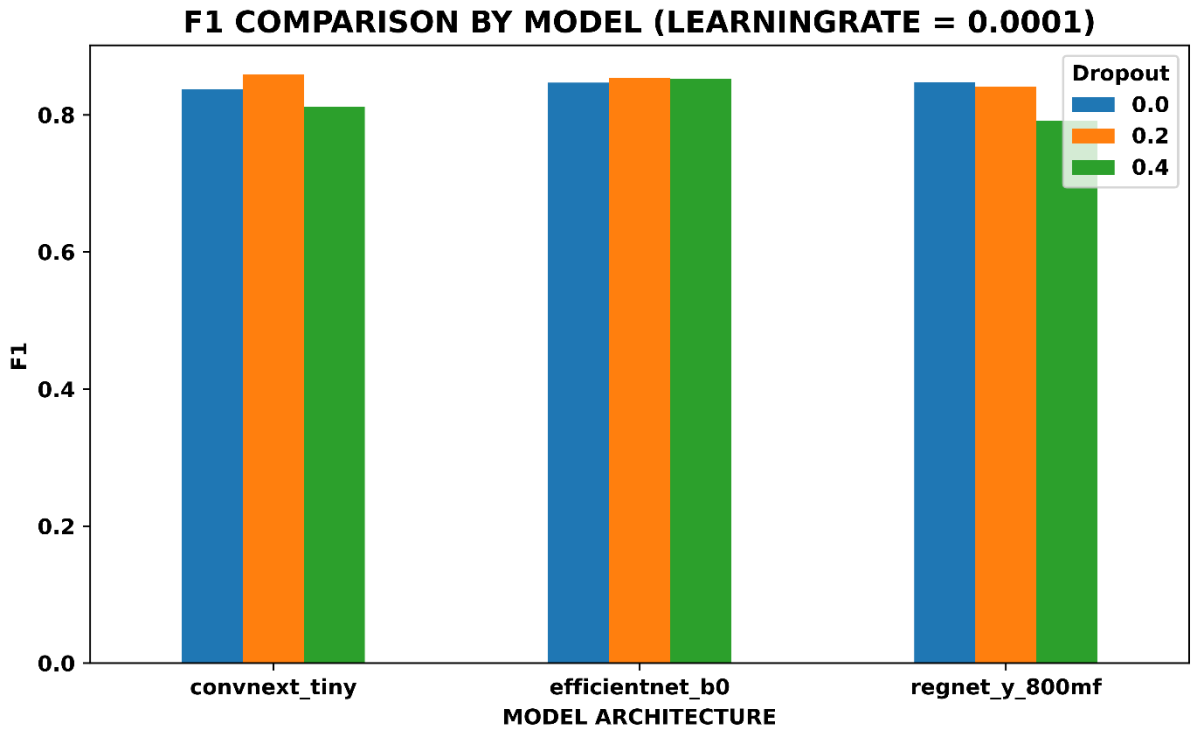


Figure 1 F1 COMPARISON BY MODEL (LEARNINGRATE = 0.0001)

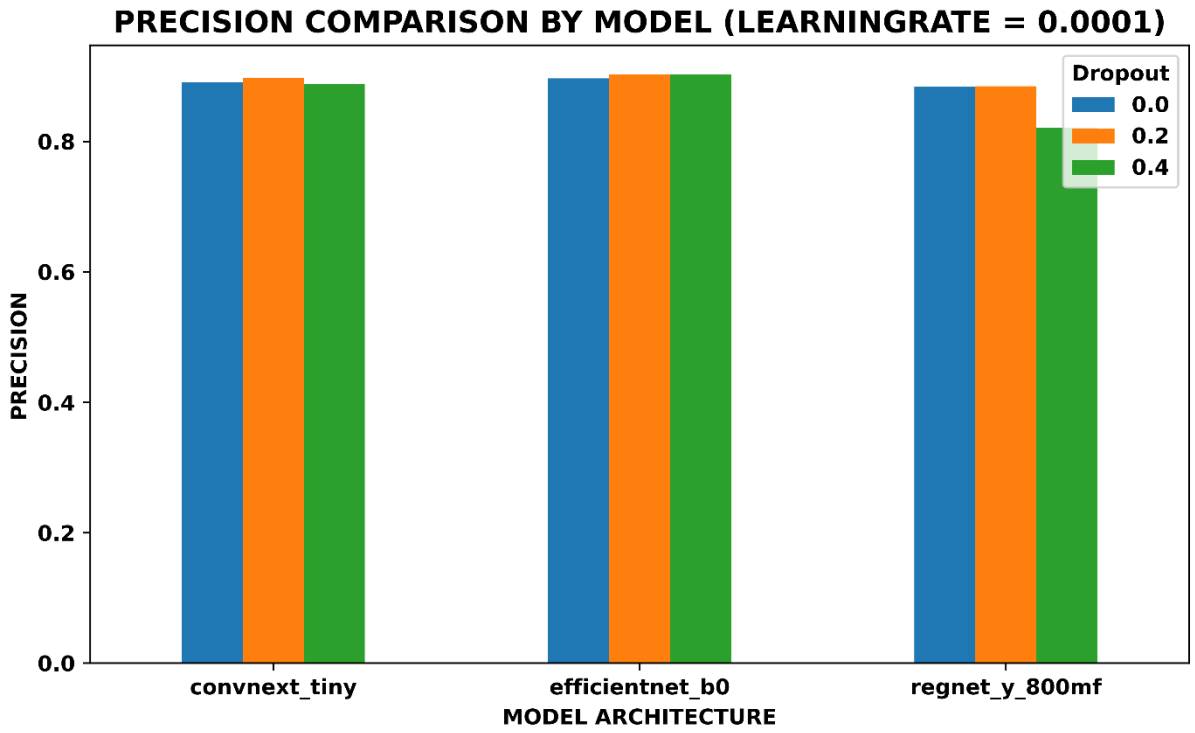


Figure 2 PRECISION COMPARISON BY MODEL (LEARNINGRATE = 0.0001)

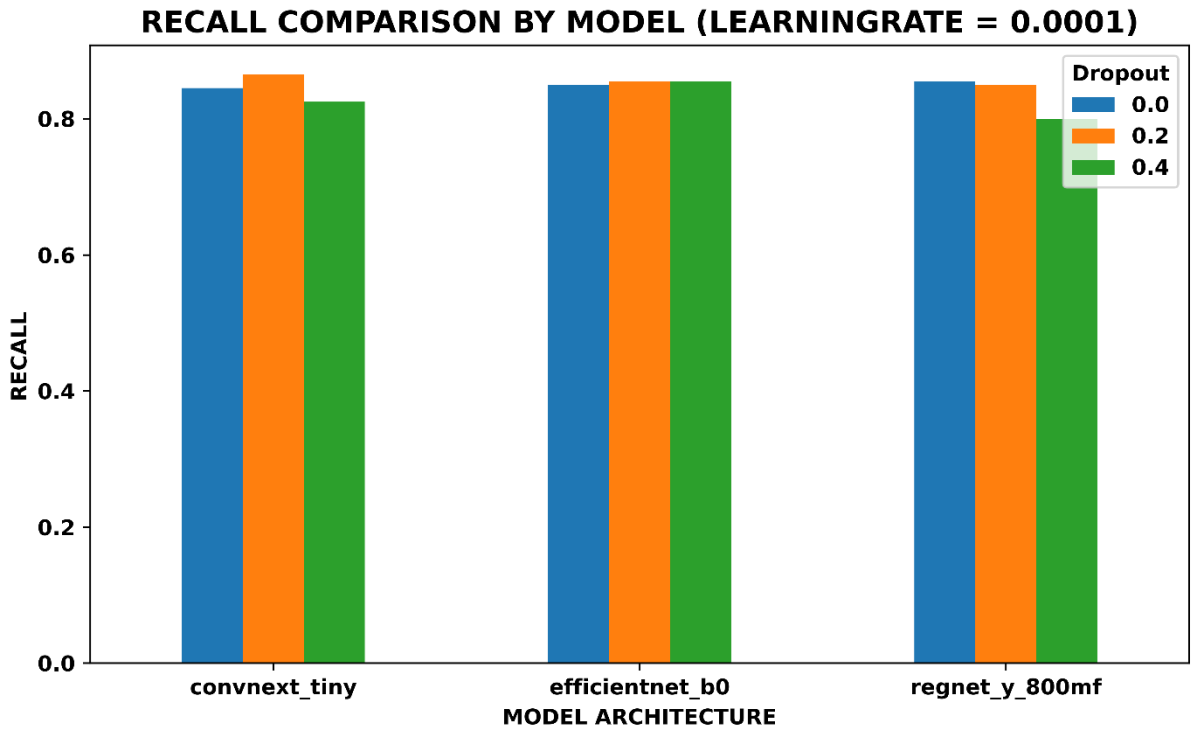


Figure 3 RECALL COMPARISON BY MODEL (LEARNINGRATE = 0.0001)

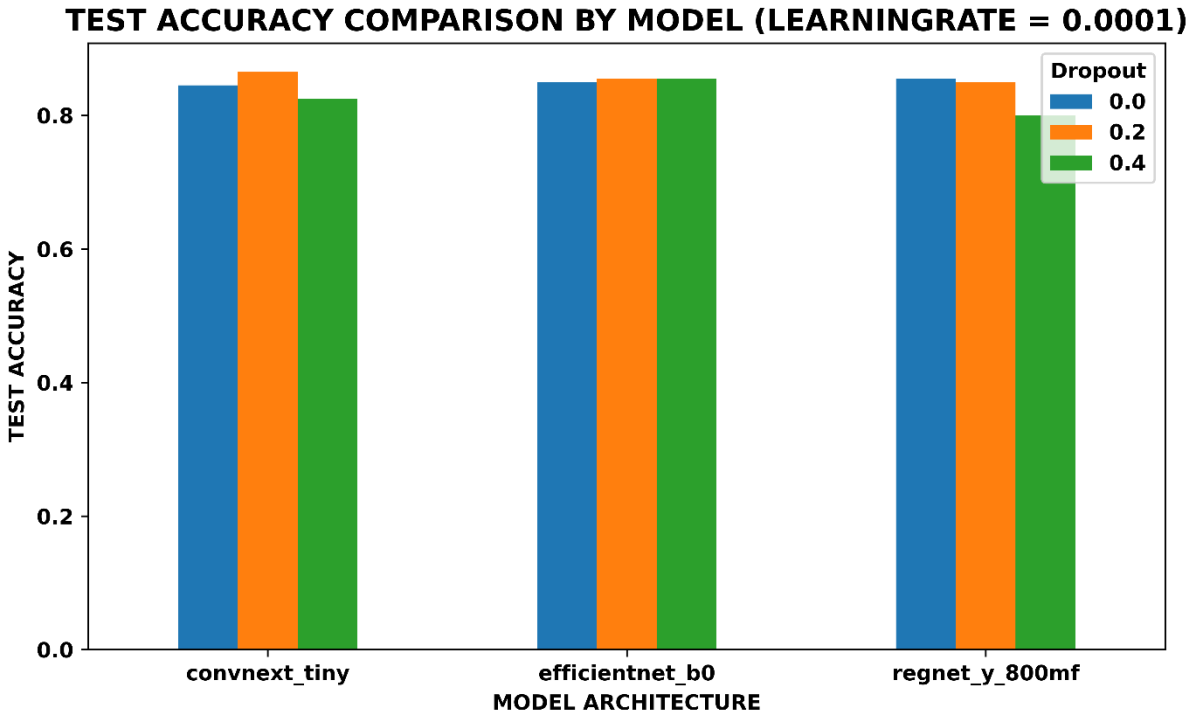


Figure 4 TEST ACCURACY COMPARISON BY MODEL (LEARNINGRATE = 0.0001)

CONCLUSION AND DISCUSSION

The experimental results demonstrate that dropout-based regularization exerts a distinct and architecture-dependent influence on retinal disease classification performance when the learning rate is held constant. Unlike learning rate variation, which can induce abrupt performance collapse, dropout primarily results in gradual performance modulation, consistent with its role as a regularization mechanism.

ConvNeXt-Tiny benefits from moderate dropout, achieving peak performance at a dropout rate of 0.2 across accuracy, AUC, and F1-score metrics. However, increasing dropout beyond this level leads to a noticeable decline in performance, suggesting that excessive regularization suppresses informative feature representations. EfficientNet-B0 exhibits strong robustness across all dropout configurations, with minimal variation in accuracy and AUC and even improved F1-score at higher dropout levels. This behavior indicates that EfficientNet's compound scaling strategy effectively balances model capacity and regularization, enabling stable generalization under varying dropout strengths.

In contrast, RegNet-Y-800MF consistently degrades as dropout increases, with declines observed across all evaluated metrics. The monotonic reduction in accuracy and F1-score suggests that RegNet-Y-800MF is particularly sensitive to feature suppression induced by dropout, making it less suitable for aggressive regularization in the OCTMNIST setting.

From a broader perspective, these findings highlight that regularization sensitivity is strongly architecture-specific. While moderate dropout can enhance generalization for certain models, excessive dropout may hinder performance, especially for architectures with limited redundancy in feature representations. For retinal disease classification tasks, where reliability and robustness are critical, selecting an appropriate dropout rate is therefore essential and should be guided by architecture-specific behavior rather than generic heuristics.

In conclusion, this study demonstrates that dropout-based regularization influences deep learning models on OCTMNIST in a controlled and interpretable manner, without inducing catastrophic failures when optimization is stable. EfficientNet-B0 emerges as the most robust architecture under varying dropout strengths, while ConvNeXt-Tiny and RegNet-Y-800MF require more careful regularization tuning. These insights contribute to a deeper understanding of regularization effects in medical image classification and provide practical guidance for designing reliable deep learning systems for retinal OCT analysis.

REFERENCES

[1] B. E. Bouma *et al.*, "Optical coherence tomography," *Nature Reviews Methods Primers*, vol. 2, no. 1, p. 79, 2022.
[2] Y. H. Kim and J. Oh, "Choroidal thickness profile in chorioretinal diseases: beyond the macula," *Frontiers in Medicine*, vol. 8, p. 797428, 2021.
[3] S. R. Singh, D. C. Parameswarappa, V. Govindahari, M. Lupidi, and J. Chhablani, "Clinical and angiographic characterization of choroidal neovascularization in diabetic retinopathy," *European Journal of Ophthalmology*, vol. 31, no. 2, pp. 584–591, 2021.
[4] J. Yang, R. Shi, and B. Ni, "Medmnist classification decathlon: A lightweight automl benchmark for medical image analysis," in *2021 IEEE 18th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, IEEE, 2021, pp. 191–195.
[5] J. Yang *et al.*, "Medmnist v2-a large-scale lightweight benchmark for 2d and 3d biomedical image classification," *Scientific Data*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2023.
[6] A. Tayal, J. Gupta, A. Solanki, K. Bisht, A. Nayyar, and M. Masud, "DL-CNN-based approach with image processing techniques for diagnosis of retinal diseases," *Multimedia systems*, vol. 28, no. 4, pp. 1417–1438, 2022.
[7] S. Park and N. Kwak, "Analysis on the dropout effect in convolutional neural networks," in *Asian conference on computer vision*, Springer, 2016, pp. 189–204.
[8] H. Wu and X. Gu, "Towards dropout training for convolutional neural networks," *Neural Networks*, vol. 71, pp. 1–10, 2015.
[9] Z. Liu, H. Mao, C.-Y. Wu, C. Feichtenhofer, T. Darrell, and S. Xie, "A ConvNet for the 2020s," in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2022, pp. 11976–11986.
[10] M. Tan and Q. V. Le, "EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks," in *International Conference on Machine Learning (ICML)*, PMLR, 2019, pp. 6105–6114.
[11] M. Tan and Q. Le, "Efficientnetv2: Smaller models and faster training," in *International conference on machine learning*, PMLR, 2021, pp. 10096–10106.
[12] I. Radosavovic, R. P. Kosaraju, R. Girshick, K. He, and P. Dollár, "Designing network design spaces," in *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, 2020, pp. 10428–10436.

OPTIMIZATION STABILITY UNDER VARYING LEARNING RATES FOR RETINAL DISEASE CLASSIFICATION

Asst. Prof. Dr. İsmail IRMAKÇI
Ege University, Faculty of Computer and Informatics Sciences,
Department of Computer Engineering, Izmir, Türkiye
ismail.irmakci@ege.edu.tr
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3277-2710

ABSTRACT

Learning rate selection plays a critical role in the stability and effectiveness of deep neural network optimization, particularly in large-scale medical image classification tasks. We conduct a comprehensive investigation of optimization stability under varying learning rates for retinal disease classification using the OCTMNIST benchmark, a standardized and widely adopted dataset derived from optical coherence tomography (OCT) imaging. OCTMNIST comprises over one hundred thousand retinal scans categorized into four clinically meaningful classes: choroidal neovascularization, diabetic macular edema, drusen, and normal retina. To disentangle optimization effects from regularization, the dropout rate is fixed (0.2) while the learning rate is systematically varied across low and high regimes. We evaluate three representative deep convolutional architectures—ConvNeXt-Tiny, EfficientNet-B0, and RegNet-Y-800MF—using multiple performance criteria, including accuracy, AUC, F1-score, precision, recall, and convergence behavior. Experimental results reveal pronounced architecture-dependent sensitivity to learning rate, where excessively large learning rates lead to premature convergence and severe degradation in predictive performance for certain models. In contrast, EfficientNet-B0 demonstrates notable resilience, maintaining stable performance across a broad range of learning rates. These findings underscore the importance of careful learning rate tuning in retinal OCT classification and highlight that architectural design choices strongly influence optimization robustness in medical imaging applications.

Keywords: Learning Rate Sensitivity, Optimization Stability, OCT Retinal Imaging

INTRODUCTION

Retinal diseases constitute a major cause of visual impairment and blindness worldwide, necessitating early detection and accurate classification to enable effective clinical intervention[1]. Optical Coherence Tomography (OCT) has become an indispensable imaging modality in modern ophthalmology, providing detailed cross-sectional visualization of retinal structures and enabling clinicians to identify pathological changes associated with conditions such as choroidal neovascularization, diabetic macular edema, drusen, and normal retinal anatomy[2], [3], [4]. Despite its diagnostic value, the growing volume of OCT data generated in routine clinical practice presents significant challenges for manual interpretation, underscoring the need for robust and scalable automated analysis techniques.

Deep learning has emerged as a powerful paradigm for medical image analysis, demonstrating state-of-the-art performance across a wide range of ophthalmic imaging tasks. Convolutional neural networks (CNNs) are particularly well suited for OCT analysis due to their ability to capture spatial hierarchies and subtle textural patterns inherent in retinal imagery[4], [5]. Recent studies have shown that deep learning models can achieve high accuracy in retinal disease classification, often rivaling expert-level performance[6], [7], [8]. However, achieving such performance in practice is highly dependent on stable and well-tuned optimization procedures, among which learning rate selection plays a pivotal role.

To address this issue, we investigate optimization stability under varying learning rates for retinal disease classification using the OCTMNIST benchmark, a large-scale, standardized dataset within the MedMNIST collection. OCTMNIST comprises over 100,000 grayscale OCT images categorized into four clinically relevant classes, providing an ideal testbed for controlled optimization studies[9], [10]. In contrast to prior work focusing primarily on architectural innovation or absolute performance gains, this study isolates optimization effects by fixing the dropout rate and systematically varying the learning rate across low and high regimes.

MATERIALS AND METHODS

Dataset Description

This study utilizes the OCTMNIST dataset, a large-scale, standardized benchmark for retinal disease classification derived from Optical Coherence Tomography (OCT) imaging. OCTMNIST is part of the MedMNIST collection, which is designed to facilitate reproducible

and computationally efficient experimentation in medical image analysis. The dataset contains 109,309 grayscale OCT images, each resized to a resolution of 28 × 28 pixels, enabling large-scale experimentation while maintaining essential retinal structural information.

OCTMNIST is formulated as a four-class classification problem, encompassing clinically significant retinal conditions: choroidal neovascularization (CNV), diabetic macular edema (DME), drusen, and normal retina. The dataset is divided into 97,477 training images, 10,832 validation images, and 1,000 test images, with class distributions preserved across splits. We sampled 20% of the original dataset for each training, validation, and test split. The predefined splits are used throughout this study to ensure consistency and reproducibility, with the independent test set reserved exclusively for final evaluation of model performance.

Deep Learning Architectures

To examine learning-rate-dependent optimization behavior across diverse architectural designs, three representative deep convolutional neural network (CNN) architectures were selected:

EfficientNet-B0[11]: A computationally efficient CNN that employs compound scaling to balance network depth, width, and resolution. Its design prioritizes stable optimization and strong generalization, making it a suitable reference model for optimization robustness studies.

ConvNeXt-Tiny[12]: A modern CNN architecture that incorporates design principles inspired by transformer models, such as large kernel convolutions and simplified hierarchical blocks. ConvNeXt-Tiny provides increased representational capacity while maintaining convolutional inductive biases.

RegNet-Y-800MF[13]: A systematically designed CNN architecture derived from structured design spaces, offering controlled scaling behavior and balanced computational complexity.

These architectures were chosen to capture varying optimization characteristics and sensitivity profiles under different learning rate regimes.

Experimental Setup

All experiments were implemented using the PyTorch deep learning framework and conducted on GPU hardware in a controlled training environment[14]. Input images were normalized according to dataset specifications, and no additional data augmentation was applied in order to focus specifically on optimization-related effects.

To investigate optimization stability, the dropout rate was fixed at 0.2, and the learning rate was systematically varied across multiple values spanning low and high regimes (1×10^{-4}, 1×10^{-1}, and 2×10^{-1}). This experimental design isolates the impact of learning rate selection on training dynamics and final model performance. The batch size was fixed at 256, and all models were trained for a maximum of 30 epochs. Model optimization was performed using the Adam optimizer, and cross-entropy loss was used as the training objective.

During training, validation performance was monitored at each epoch, and the model checkpoint achieving the best validation result was selected for final evaluation. The epoch corresponding to this checkpoint was recorded to analyze convergence behavior under different learning rate configurations.

RESULTS

Model performance was assessed using a comprehensive set of evaluation metrics to capture both predictive accuracy and optimization stability. These metrics include test accuracy, area under the ROC curve (AUC), F1-score, precision, and recall, providing complementary perspectives on classification performance. In addition to final performance metrics, convergence characteristics, such as the epoch of best validation performance, were analyzed to identify premature convergence and instability induced by aggressive learning rate settings.

All reported metrics were computed on the held-out test set using the selected model checkpoint, enabling fair and consistent comparison across learning rate configurations and architectures.

This section presents the quantitative results of the learning-rate sensitivity analysis conducted under a fixed dropout rate of 0.2. Model performance is evaluated using test accuracy, area under the ROC curve (AUC), and F1-score, with additional insights provided through precision and recall trends visualized in Figures 1–3.

Table 1 reports the test accuracy results across three learning rate configurations. At a low learning rate (LR = 0.0001), all three architectures—ConvNeXt-Tiny, EfficientNet-B0, and RegNet-Y-800MF—achieve comparable and high classification accuracy, ranging between 0.850 and 0.865. However, when the learning rate is increased to 0.1 and 0.2, a pronounced divergence in performance is observed. ConvNeXt-Tiny and RegNet-Y-800MF exhibit a sharp

degradation in accuracy, collapsing to 0.250 at LR = 0.2, which is close to random guessing in a four-class classification setting. In contrast, EfficientNet-B0 maintains relatively stable performance, achieving accuracies of 0.840 and 0.810 at LR = 0.1 and LR = 0.2, respectively (Table 1, Figure 4).

A similar pattern is observed in terms of AUC performance, as summarized in Table 2. ConvNeXt-Tiny and RegNet-Y-800MF experience substantial drops in AUC at higher learning rates, with values decreasing to 0.4865 and 0.5135, respectively, at LR = 0.2. EfficientNet-B0 again demonstrates robustness, achieving consistently high AUC values above 0.96 across all learning rates, including a peak AUC of 0.9730 at LR = 0.1. These results indicate that EfficientNet-B0 preserves class separability even under aggressive optimization settings, whereas the other architectures suffer from severe degradation.

The F1-score results presented in Table 3 further reinforce these findings. At LR = 0.0001, all models achieve high F1-scores, with ConvNeXt-Tiny and EfficientNet-B0 exceeding 0.97. As the learning rate increases, ConvNeXt-Tiny and RegNet-Y-800MF exhibit a dramatic decline in F1-score, falling to 0.4699 at LR = 0.2. EfficientNet-B0, however, maintains stable F1-scores above 0.96 across all learning rates. This behavior is consistent with the precision and recall trends illustrated in Figures 2 and 3, where EfficientNet-B0 sustains balanced precision-recall trade-offs, while the other two models experience simultaneous degradation in both metrics.

Overall, the quantitative results across Tables 1–3 and Figures 1–4 consistently demonstrate that learning rate selection has a strong and architecture-dependent impact on classification performance, even when regularization strength is held constant.

Table 6 Test Accuracy – Learning Rate Comparison (Dropout = 0.2 fixed)

Model	**LR = 0.0001**	**LR = 0.1**	**LR = 0.2**
convnext_tiny	0.865	0.250	0.250
efficientnet_b0	0.855	0.840	0.810
regnet_y_800mf	0.850	0.770	0.250

Table 7 Test AUC – Learning Rate Comparison (Dropout = 0.2 fixed)

Model	**LR = 0.0001**	**LR = 0.1**	**LR = 0.2**
convnext_tiny	0.9778	0.5151	0.4865
efficientnet_b0	0.9692	0.9730	0.9667
regnet_y_800mf	0.9569	0.9628	0.5135

Table 8 F1-Score – Learning Rate Comparison (Dropout = 0.2 fixed)

Model	**LR = 0.0001**	**LR = 0.1**	**LR = 0.2**
convnext_tiny	0.9737	0.4699	0.4699
efficientnet_b0	0.9727	0.9729	0.9667
regnet_y_800mf	0.9483	0.9451	0.4699

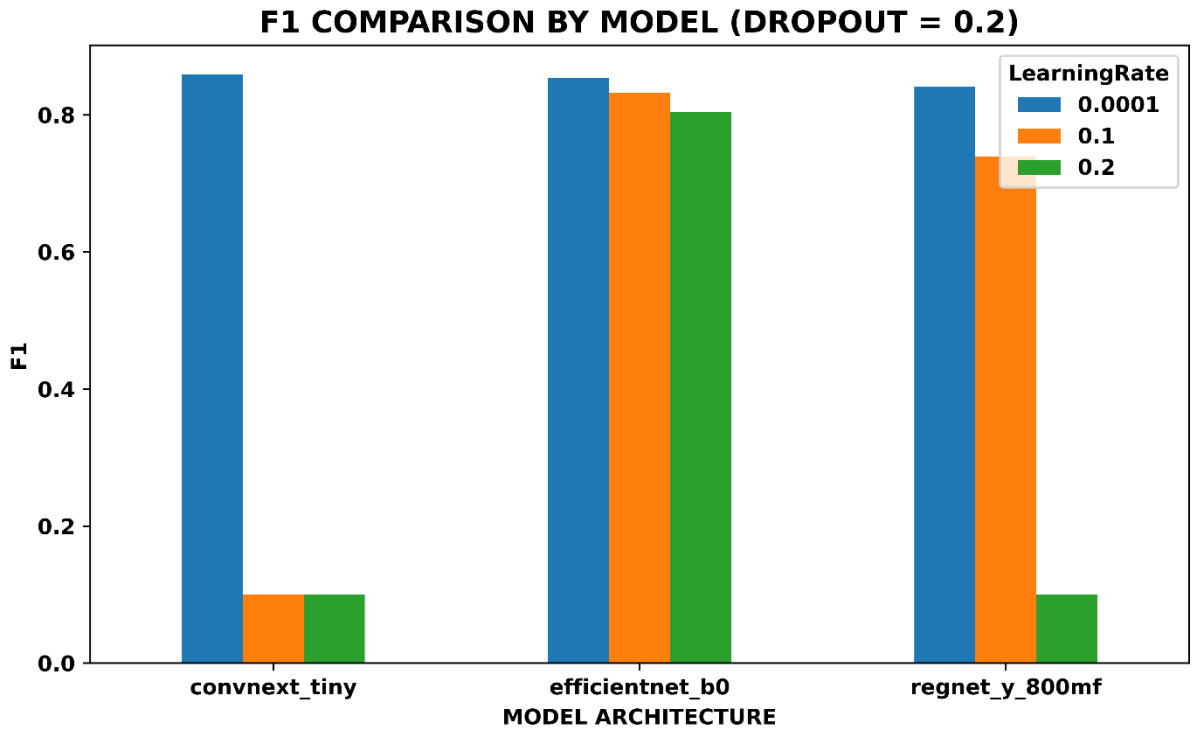


Figure 5 F1 COMPARISON BY MODEL (DROPOUT = 0.2)

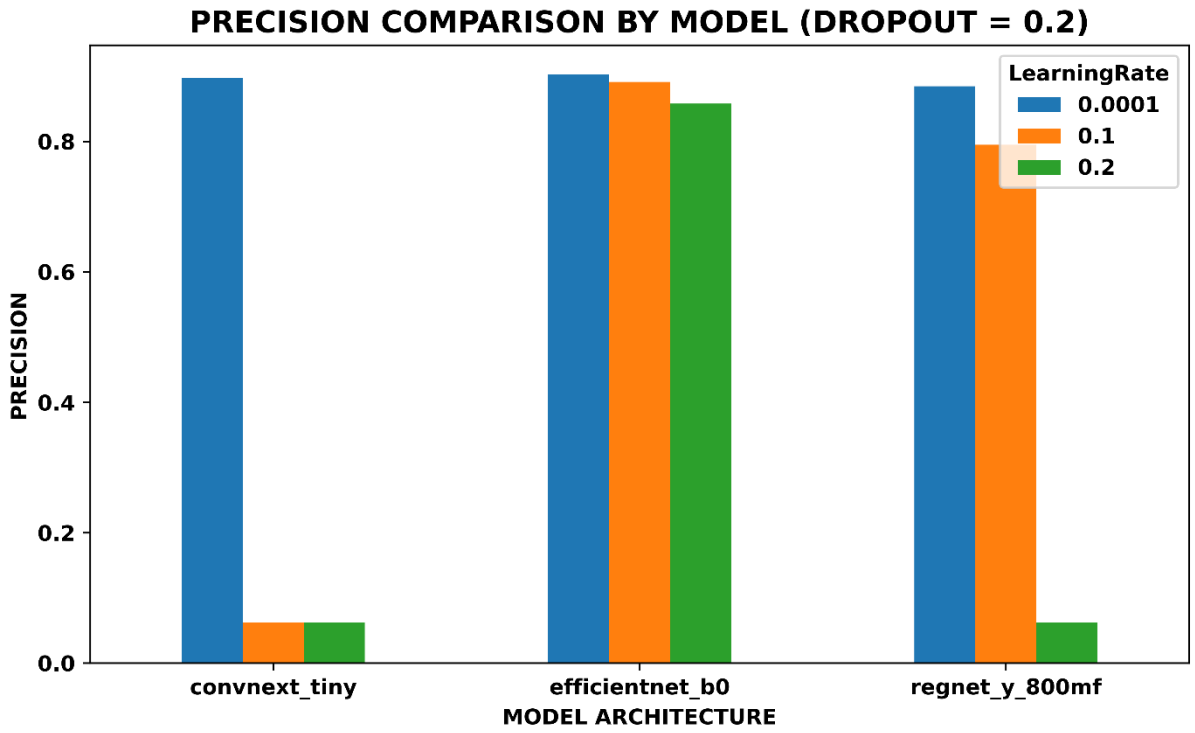


Figure 6 PRECISION COMPARISON BY MODEL (DROPOUT = 0.2)

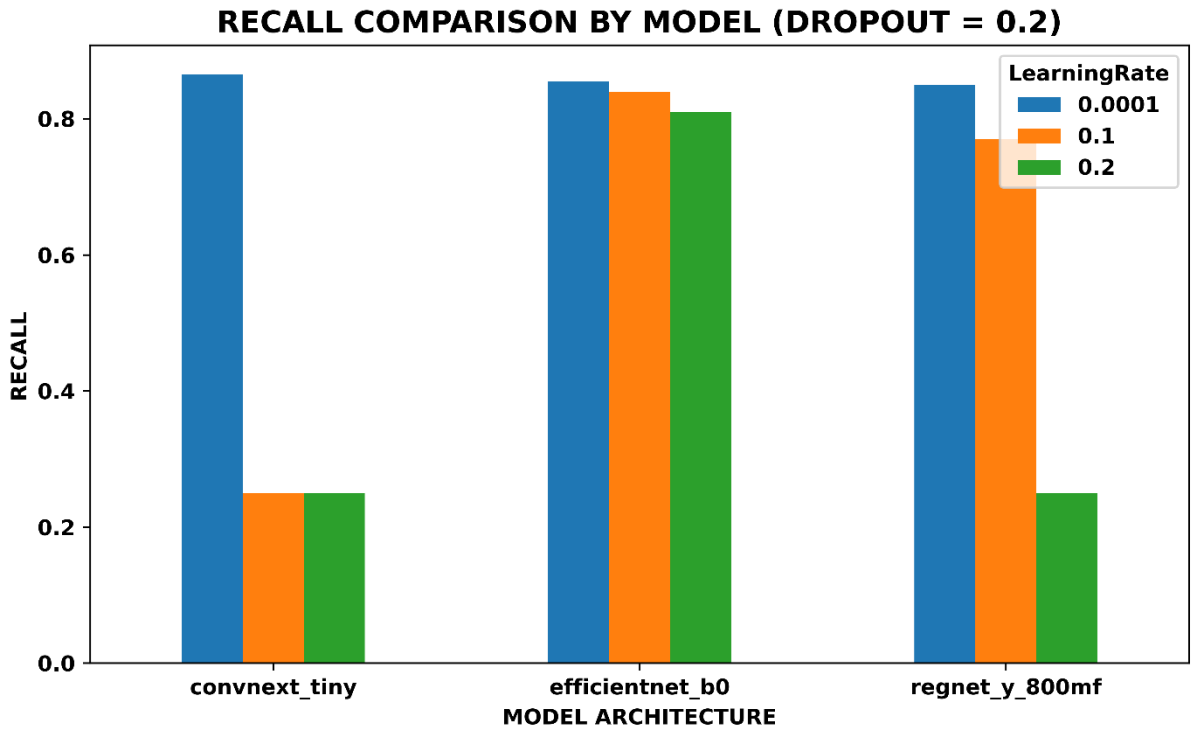


Figure 7 RECALL COMPARISON BY MODEL (DROPOUT = 0.2)

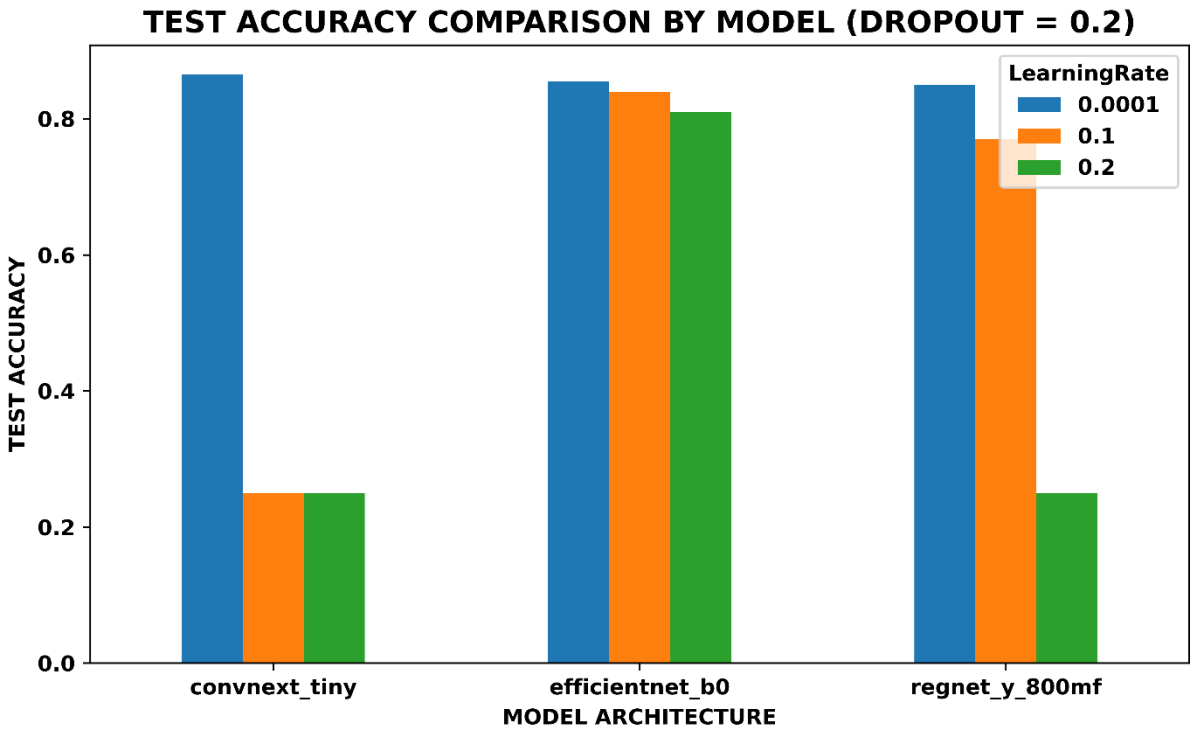


Figure 8 TEST ACCURACY COMPARISON BY MODEL (DROPOUT = 0.2)

CONCLUSION AND DISCUSSION

The experimental results highlight the critical role of learning rate selection in determining the optimization stability and final performance of deep learning models for retinal disease classification on the OCTMNIST benchmark. Despite identical training conditions and a fixed dropout rate, substantial differences emerge across architectures as the learning rate is varied.

ConvNeXt-Tiny and RegNet-Y-800MF exhibit high sensitivity to learning rate misconfiguration. While both architectures perform well at a conservative learning rate (0.0001), their rapid collapse in accuracy, AUC, and F1-score at higher learning rates suggests unstable optimization dynamics and premature convergence. The simultaneous deterioration of precision and recall (Figures 2 and 3) indicates that these failures are not limited to specific classes but reflect a global breakdown in discriminative capacity. Such behavior underscores the risk of aggressive learning rate choices in clinical applications, where unstable training can lead to unreliable predictions.

In contrast, EfficientNet-B0 consistently demonstrates strong robustness to learning rate variation. Across all evaluated metrics—accuracy, AUC, F1-score, precision, and recall—EfficientNet-B0 maintains stable and high performance even at learning rates that cause catastrophic failure in the other architectures. This resilience may be attributed to EfficientNet's compound scaling strategy, which balances network depth, width, and resolution in a manner that promotes smoother optimization landscapes and improved gradient stability.

From a practical perspective, these findings emphasize that optimization stability can outweigh architectural complexity in determining real-world performance. A model that is theoretically powerful but highly sensitive to learning rate may underperform in practice if hyperparameter tuning is suboptimal. For retinal disease classification tasks, where reproducibility and reliability are essential, architectures with inherent optimization robustness—such as EfficientNet-B0—offer clear advantages.

In conclusion, this study demonstrates that learning rate sensitivity is a decisive factor in deep learning-based retinal disease classification on OCTMNIST. Even under fixed regularization, inappropriate learning rate choices can negate architectural benefits and lead to misleading performance assessments.

REFERENCES

[1] B. E. Bouma *et al.*, "Optical coherence tomography," *Nature Reviews Methods Primers*, vol. 2, no. 1, p. 79, 2022.
[2] Y. H. Kim and J. Oh, "Choroidal thickness profile in chorioretinal diseases: beyond the macula," *Frontiers in Medicine*, vol. 8, p. 797428, 2021.
[3] S. R. Singh, D. C. Parameswarappa, V. Govindahari, M. Lupidi, and J. Chhablani, "Clinical and angiographic characterization of choroidal neovascularization in diabetic retinopathy," *European Journal of Ophthalmology*, vol. 31, no. 2, pp. 584–591, 2021.
[4] A. Sunija, S. Kar, S. Gayathri, V. P. Gopi, and P. Palanisamy, "Octnet: A lightweight cnn for retinal disease classification from optical coherence tomography images," *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 200, p. 105877, 2021.
[5] M. Rahil, B. Anoop, G. Girish, A. R. Kothari, S. G. Koolagudi, and J. Rajan, "A deep ensemble learning-based CNN architecture for multiclass retinal fluid segmentation in OCT images," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 17241–17251, 2023.
[6] A. Tayal, J. Gupta, A. Solanki, K. Bisht, A. Nayyar, and M. Masud, "DL-CNN-based approach with image processing techniques for diagnosis of retinal diseases," *Multimedia systems*, vol. 28, no. 4, pp. 1417–1438, 2022.
[7] M. Wilhelmi and A. Rusiecki, "Simple CNN as an alternative for large pretrained models for medical image classification-MedMNIST case study," *Procedia Computer Science*, vol. 239, pp. 1298–1303, 2024.
[8] Y. Zhang, Z. Li, N. Nan, and X. Wang, "TranSegNet: hybrid CNN-vision transformers encoder for retina segmentation of optical coherence tomography," *Life*, vol. 13, no. 4, p. 976, 2023.
[9] J. Yang, R. Shi, and B. Ni, "MedMNIST Classification Decathlon: A lightweight AutoML benchmark for medical image analysis," in *2021 IEEE 18th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, IEEE, 2021, pp. 191–195.
[10] J. Yang *et al.*, "Medmnist v2-a large-scale lightweight benchmark for 2d and 3d biomedical image classification," *Scientific Data*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2023.
[11] M. Tan and Q. V. Le, "EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks," in *International Conference on Machine Learning (ICML)*, PMLR, 2019, pp. 6105–6114.
[12] Z. Liu, H. Mao, C.-Y. Wu, C. Feichtenhofer, T. Darrell, and S. Xie, "A ConvNet for the 2020s," in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2022, pp. 11976–11986.
[13] I. Radosavovic, R. P. Kosaraju, R. Girshick, K. He, and P. Dollár, "Designing network design spaces," in *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, 2020, pp. 10428–10436.
[14] S. Imambi, K. B. Prakash, and G. Kanagachidambaresan, "PyTorch," in *Programming with TensorFlow: solution for edge computing applications*, Springer, 2021, pp. 87–104.

HYBRID META-HEURISTIC FEATURE SELECTION FOR RESNET101-BASED OLIVE PEACOCK EYE DISEASE DETECTION

Cumali TÜRKMENOĞLU

Dr, Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Faculty of Engineering, İstanbul/ Türkiye.

cturkmenoglu@fsm.edu.tr - 0000-0002-1026-0725

Murat In

Ar-Ge Müdürü, HIT Information Consulting Services Industry and Trade Inc., İstanbul / Türkiye.

murat.in@hitsoft.com.tr - 0009-0008-2307-6741

ABSTRACT

Early detection of peacock eye disease in olive cultivation is critical for preventing significant productivity losses. While deep learning provides powerful disease detection capabilities, the high dimensionality of extracted features limits deployment in resource-constrained agricultural environments.

This study develops a hybrid meta-heuristic feature selection approach combining Artificial Bee Colony (ABC) exploration with Genetic Algorithm (GA) exploitation strengths. Using ResNet101 architecture on an olive leaf dataset (572 healthy, 382 diseased), our hybrid ABCGA approach identifies highly discriminative feature subsets while achieving extreme dimensionality reduction.

Experimental results demonstrate that ABCGA significantly outperforms individual meta-heuristics and filter-based methods across RF, SVM, and ANN classifiers. We achieved 99.3% accuracy while reducing features by 95% (from 2048 to 100 features), with superior convergence in 35 iterations versus 55 for GA and 65 for ABC alone. This dramatic dimensionality reduction without sacrificing performance enables robust, field-deployable disease monitoring systems for precision agriculture applications.

Keywords : Deep Learning Feature Optimization, Artificial Bee Colony, Genetic Algorithm, Agricultural Disease Detection, Computational Efficiency, Precision Agriculture.

Effect of Microsized MgO Reinforcement on the Microhardness, Density, and Microstructures of Epoxy Resin Composites

Mikail Aslan[1*]

[1]Metallurgical and Materials Engineering Department, Engineering Faculty, Gaziantep University, Gaziantep, 27310, Turkey.
[1]mikailsln@gmail.com
(ORCID: 0000-0003-2235-5104-0000)

Tel +90 (342) 360 1200-3904

Abstract

One type of compound that has gained significant attention is epoxy resin, which gives strong mechanical strength, good adhesion, and high chemical resistance. still, their performance can be limited under heat and structural stress due to essential fineness. To address this issue,micro-sized magnesium oxide(MgO) was added to an epoxy matrix. Epoxy resin with 0 – 5 MgO microparticles was mixed completely using a magnetic stirrer and allowed to cure at room temperature to form bulk mixes. Vickers hardness tests, conducted under a 50 gf with a 5-second dwell time, A notable increase in hardness was observed at low MgO, peaking at roughly 1 weight percent MgO (around 10–11 HV). This enhancement resulted from effective stress transfer and strong cling between MgO and the epoxy resin matrix. also, optic image analysis revealed that the surfaces became uneven and rougher as the MgO content increased.

Keywords: Epoxy resin composites, MgO microparticles, Vickers microhardness, Density, Microstructures

Introduction

A composite (two or more components) produces properties that surpass those of traditional counterparts and are better than each component alone due to their resistance to corrosion, high strength and stiffness, and lightweight properties [1, 2]. Because of the cost-effective productions made possible by advanced manufacturing technology and materials science design techniques, such as the development of hybrid materials, the industrial use of composites is expanding [3, 4].
composites were preferred in several industries, such as satellites [5], cars [6], sports equipment [7], transportation [8], the marine industry [9], and aviation [10].

There has been a strong focus on improving polymer materials. Epoxy resin mixes are known for their strength, chemical resistance, dimensional stability, and ease of processing. However, neat epoxy resin tends to be brittle and has low thermal conductivity, which limits its use in structural, electrical, and thermal applications. For improving epoxy resins for practical use, previous studies generally focused on just changing the chemistry of the prepolymer or curing agent but embedding to specific fillers to epoxy polymer composites is a practical way for developing their mechanical, electrical, and thermal properties. The reinforcing phases (fibers, fillers, or both) strengthen the matrix and expand its application uses [4]. Fiber-reinforced

polymers (FRP) are well-known structural composites that have a high load-bearing strength-to-weight ratio [11, 12]. Still, due to the thinness of the fiber and matrix materials, they usually show sudden breaks when they fail and have low resistance to impact loads [13]. The addition of micro or nano-sized particles (also referred to as additives or fillers) into the polymer matrix is an attractive matrix toughening method that has been extensively employed by many researchers recently [14-16]. In the study [17], epoxy resin composites with microsized and nanosized TiO_2 powders at different volume ratios were tested in terms of their mechanical, thermal, and microstructural properties. With low TiO_2 contents (less than 7 vol%), the results revealed that nanocomposites significantly improved flexural strength, Young's modulus, and fracture toughness. On the other hand, at higher TiO_2 ratios, fracture toughness and flexural strength decrease, while the modulus was higher than that of pure epoxy. At certain low nanoparticle fractions, the glass transition temperature (Tg) of the nanocomposites increased. But with higher nanoparticle loads and all microparticle additions, the Tg decreased. SEM analysis showed smoother fracture surfaces and fewer defects at low nanoparticle loadings (around 4 vol%). Higher ratios of TiO_2, in contrast, led to brittle fractures with multiple crack propagation paths. This suggests that low TiO_2 nanoparticle ratios were useful for better mechanical and thermal properties of the epoxy composites. The wear, hardness, and impact properties of nanocomposites consisting of epoxy resin with different concentrations (0.5–3%) of SiO_2 and Al_2O_3 nanoparticles were investigated in the work [18]. Tests were applied to samples by using high-speed mixing and ultrasonication methods. The results showed significant improvements in the mechanical and tribological properties of the epoxy. The composite with 3% Al_2O_3 had the highest impact energy, hardness, and wear resistance. SiO_2 and Al_2O_3 were added to boost hardness and impact strength while reducing the wear rate. Overall, epoxy composites reinforced with $Al2O_3$ performed better than those reinforced with SiO_2.

Magnesium oxide (MgO) is a lightweight, inexpensive, and non-toxic ceramic material that exhibits excellent insulating and heat-resistant properties [19]. When you mix magnesium oxide particles into an epoxy matrix, they can significantly improve the composite’s tensile strength, hardness, thermal conductivity, and dielectric breakdown strength [20]. The improvements are mainly due to the even distribution of MgO, the strong bonding between the reinforcement and the matrix, and MgO's ability to prevent crack propagation by acting as an energy-absorbing phase [21].

This work focuses on creating and studying epoxy resin composites reinforced with MgO, showing how MgO reinforcement affects the hardness, density, and microstructure of the materials. The goal is to develop a strong, low-cost composite that is suitable for industrial and structural use

Materials and Methods

To produce MgO-reinforced epoxy polymer composites, MgO particles and laminating resin components A and component B were supplied from ZAG and ADS Chemistry, respectively.

The coarse MgO particles (2-4 mm) were ground into finer particles using ring milling. After using the sieve, the remaining weight of the MgO powders on the sieve with having 45 µm size was used in the experiment. To form MgO-reinforced epoxy composites, micro-sized MgO particles were additionally poured with weight percentages of 0, 1, 3, and 5, and the epoxy resin (6 g) was weighed. The powder compounds and resin were placed in a beaker, and the mixing was carried out by hand for five minutes. The hardener is then poured into the beaker as a weight ratio between the resin and hardener of 2. The resulting suspension was mixed for 3 hours by a magnetic stirrer at a speed of 600 rpm. To ensure homogenous distribution, the compound was again mechanically mixed for 3 minutes, and then the compound was dried at room temperature.

Results and Discussion

Normally, as the MgO ratios increase, the overall density of the composite gradually increases as compared to neat epoxy since MgO has a higher structural density, around 3.58 g/cm³, than the polymer matrix, which is about 1.1 to 1.2 g/cm³. In this study, higher MgO content leads to a decrease in density values. This is because particle clumping, weak bonding at the interface, or the creation of voids during curing, and a higher-than-ideal filler content may result in slight changes or stagnation in density. Issues like reduced particle packing efficiency or trapped air spaces can also result in local density variations. Thus, it is important that the balance between the amount of filler used, how evenly it is spread, and the bonding between MgO and epoxy matrix. Furthermore, the lowest value belongs to the epoxy having 5 wt. % MgO content, but it was not calculated since the density of this composite is lower than pure water.

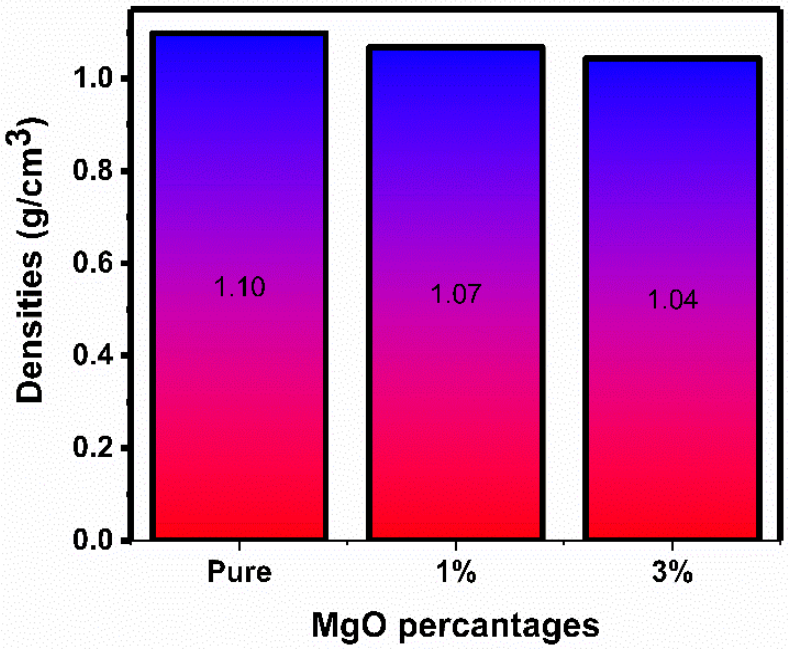
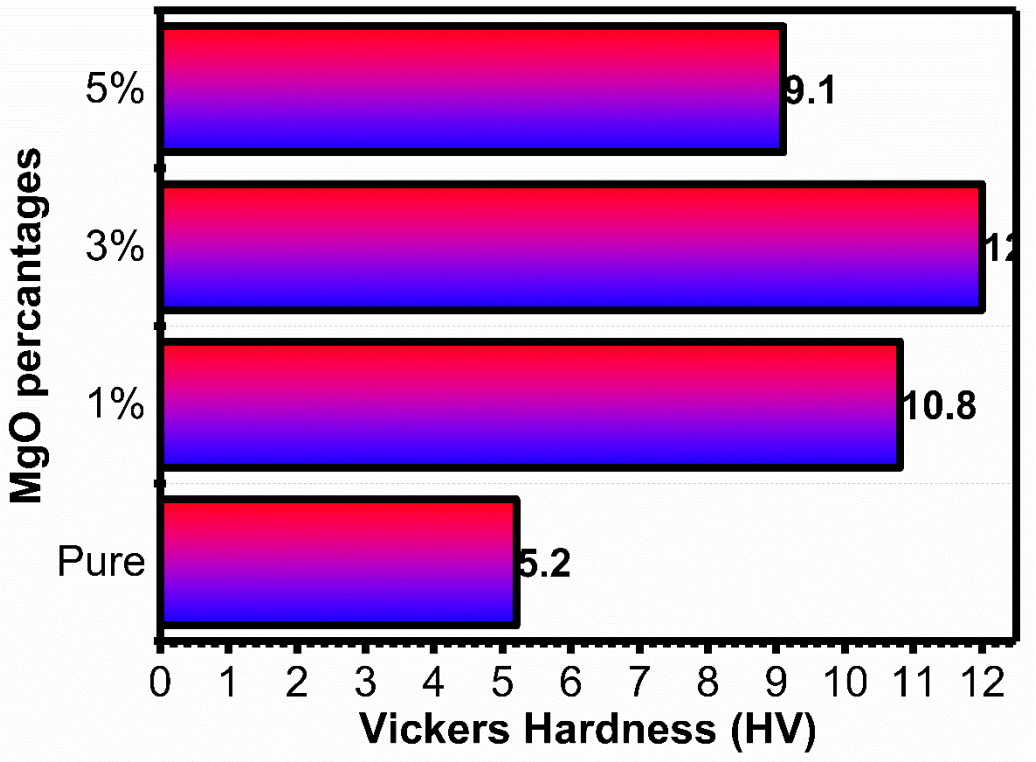


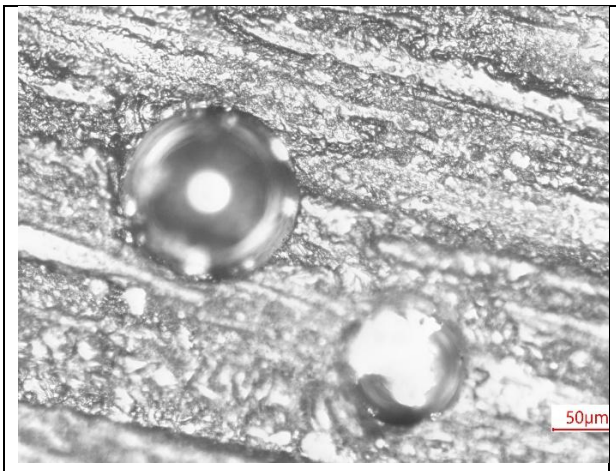
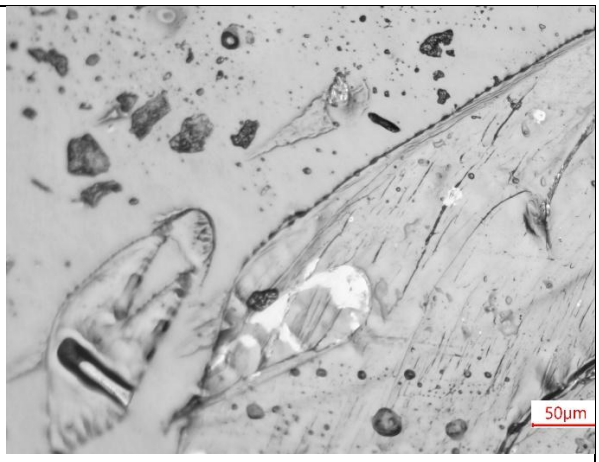
Figure 1. Density values of the given epoxy polymer composites

The Vickers hardness test, applied to microsized MgO-epoxy resin composites with a 50 gf load and a 5-second dwell time, indicates how adding ceramic filler impacts the surface mechanical behavior of the polymer matrix. The pure epoxy has a low hardness value of approximately 5 HV due to its soft and ductile nature. The sharp increase in hardness with the

introduction of micro-sized MgO refers to a uniform bonding at low filler loading and effective stress transfer from the matrix to the solid MgO particles. This increase peaks at roughly 1 wt% % MgO, reaching about 10-11 HV after calibration. Still, when the MgO content rises further than 3 wt%, the hardness gradationally decreases due to the poor dissipation, flyspeck cementing, and the conformation of voids at the interface acting as stress concentrators. The 5-second dwell time provided enough indentation stability without conspicuous viscoelastic recovery, which makes the measures dependable for comparison. The results indicate that optimal MgO lading improves face hardness through better microstructural retention, while too important padding lowers both unity and hardness due to the conformation ofmicro-defects within the epoxy resin matrix.



The optic microscope images reveal the face morphologies of MgO- corroborated epoxy resin mixes with given rates(pure, 1, 3, and 5) at a scale of 50 µm(see Figure 3). The face of the epoxy resin sample without padding addition is fairly invariant and smooth. These are characteristics of the typical polymer morphology with minimum addition of material commerce. At 1 wt% MgO loading, the face becomes slightly rougher, which indicates partial dissipation of MgO. If the MgO rate is 3 wt., the face displays further conspicuous irregularities and micro-textures due to an advanced quantum of MgO patches in the epoxy resin, leading to microstructural differences. In the sample of the epoxy resin polymer having 5 wt. MgO, its microstructure looks thicker and rougher, which indicates flyspeck cementing and uneven distribution. These high MgO rates may produce original stress points. It may be appertained that the change from smooth to rough face texture, where cementing may come worse.

	
Pure	1 %
	
3 %	5 %

Conclusion

In this paper, epoxy resin resins with added micro-sized MgO were produced. Their density, hardness, and microstructural features were examined. The results show that a low MgO content of roughly 1 wt.% redounded in conspicuous advancements in hardness and in the commerce between the padding and the matrix. The optimal rate for adhesion and flyspeck distribution was observed at MgO ladings of 3 wt. Advanced MgO situations negatively affected hardness and uniformity due to flyspeck cementing, microstructural inconsistencies, and original stress attention. Additionally, unexpectedly, increasing MgO content led to a decrease in density values because of poor dispersion and void formation at higher filler levels. Microstructure analyses demonstrated that the smooth surfaces of pure epoxy became rougher and more varied as MgO ratios increased. Furthermore, this process provides a cost-effective method to develop high-performance materials for industrial and structural applications. Future research could explore combining MgO with other micro- or nano-scale fillers to further improve composite performance.

Reference**s**

[1] F. A. M. M. Gonçalves, M. Santos, T. Cernadas, P. Alves, and P. Ferreira, "Influence of fillers on epoxy resins properties: a review," *Journal of materials science*, vol. 57, no. 32, pp. 15183-15212, 2022.

[2] P. Jäschke, V. Wippo, S. Bluemel, R. Staehr, and H. Dittmar, "Laser machining of carbon fiber-reinforced plastic composites," in *Advances in Laser Materials Processing*: Elsevier, 2018, pp. 121-152.

[3] N. Boddeti, D. W. Rosen, K. Maute, and M. L. Dunn, "Multiscale optimal design and fabrication of laminated composites," *Composite Structures*, vol. 228, p. 111366, 2019.

[4] E. A. Franco-Urquiza and A. V. Rentería-Rodríguez, "Effect of nanoparticles on the mechanical properties of kenaf fiber-reinforced bio-based epoxy resin," *Textile Research Journal*, vol. 91, no. 11-12, pp. 1313-1325, 2021.

[5] C. Shemelya *et al.*, "Anisotropy of thermal conductivity in 3D printed polymer matrix composites for space based cube satellites," *Additive Manufacturing*, vol. 16, pp. 186-196, 2017.

[6] K. Friedrich and A. A. Almajid, "Manufacturing aspects of advanced polymer composites for automotive applications," *Applied Composite Materials*, vol. 20, no. 2, pp. 107-128, 2013.

[7] X. Yang, F. Gu, and X. Chen, "Polymer composite materials used in sports equipment and its influence on competitive sports," pp. 53-57.

[8] A. G. Koniuszewska and J. W. Kaczmar, "Application of polymer based composite materials in transportation," *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*, vol. 32, no. 1, pp. 1-24, 2016.

[9] A. Raheem and K. M. Subbaya, "Performance evaluation of hybrid polymer composite materials in marine applications: A review," *Materials Today: Proceedings*, 2023.

[10] P. E. Irving and C. Soutis, *Polymer composites in the aerospace industry*. Woodhead Publishing, 2019.

[11] W. Nsengiyumva, S. Zhong, J. Lin, Q. Zhang, J. Zhong, and Y. Huang, "Advances, limitations and prospects of nondestructive testing and evaluation of thick composites and sandwich structures: A state-of-the-art review," *Composite Structures*, vol. 256, p. 112951, 2021.

[12] N. Geren, D. C. Acer, C. Uzay, and M. Bayramoglu, "The effect of boron carbide additive on the low-velocity impact properties of low-density foam core composite sandwich structures," *Polymer Composites*, vol. 42, no. 4, pp. 2037-2049, 2021.

[13] C. Sonnenfeld, H. Mendil-Jakani, R. Agogué, P. Nunez, and P. Beauchêne, "Thermoplastic/thermoset multilayer composites: A way to improve the impact damage tolerance of thermosetting resin matrix composites," *Composite Structures*, vol. 171, pp. 298-305, 2017.

[14] S. Vesco, D. Salvi, and D. Almonti, "High performance particle-reinforced epoxy composites with industrial grade graphite, GNPs and hBN: a comparative study," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 136, no. 3, pp. 1379-1391, 2025.

[15] W. Abd-Elaziem *et al.*, "Particle-reinforced polymer matrix composites (PMC) fabricated by 3D printing," *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, vol. 33, no. 12, pp. 3732-3749, 2023.

[16] A. S. Jose, A. Athijayamani, and S. P. Jani, "A review on the mechanical properties of bio waste particulate reinforced polymer composites," *Materials Today: Proceedings*, vol. 37, pp. 1757-1760, 2021.

[17] I. A. Al-Ajaj, M. M. Abd, and H. I. Jaffer, "Mechanical properties of micro and nano TiO2/epoxy composites," *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 93-97, 2013.

[18] N. A. Ai, S. Hussein, M. K. Jawad, and I. Al-Ajaj, "Effect of Al2O3 and SiO2 nanopartical on wear, hardness and impact behavior of epoxy composites," *Chemistry and materials Research*, vol. 7, no. 4, pp. 34-40, 2015.

[19] G. Ge, Y. Tang, Y. Li, and L. Huang, "Effect of environmental temperature on the insulating performance of epoxy/MgO nanocomposites," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 20, p. 7018, 2020.

[20] M. W. Akhtar, J. S. Kim, M. A. Memon, M. Y. Khan, and M. M. Baloch, "Surface modification of magnesium oxide/epoxy composites with significantly improved mechanical and thermal properties," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 32, no. 11, pp. 15307-15316, 2021.

[21] F.-P. Du, H. Tang, and D.-Y. Huang, "Thermal conductivity of epoxy resin reinforced with magnesium oxide coated multiwalled carbon nanotubes," *International Journal of Polymer Science*, vol. 2013, no. 1, p. 541823, 2013.

EFFECT OF NANOSILICA REINFORCEMENT ON THE MICROHARDNESS, DENSITY, AND MICROSTRUCTURES OF EPOXY RESIN COMPOSITES

Mikail Aslan[1*]

[1]Metallurgical and Materials Engineering Department, Engineering Faculty, Gaziantep University, Gaziantep, 27310, Turkey.
[1]mikailsln@gmail.com
(ORCID: 0000-0003-2235-5104-0000)

Tel +90 (342) 360 1200-3904

Abstract

Although the excellent adhesion, dimensional stability, and chemical resistance of the epoxy resins, their low hardness limit their usage as thermosetting polymers in electronic, automotive, and aerospace fields. To cope with these problems, micro- and nano-sized particles are added to the epoxy matrix as a filler agent. In this study, nanosilica (SiO_2) particles were used as a reinforcing agent in epoxy resin matrix with percentages of 0%, 0.5%, 1% and 3% to enhance mechanical properties. The composites were prepared by mechanical stirring and magnetically mixed for homogeneous dispersion and then allowed to cure at room temperature. Results indicate that a significant improvement in hardness was achieved due to the addition of the nanosilica. The highest value was achieved at the 1 wt% loading, which refers to uniform particle dispersion and efficient stress transfer.

Keywords: Epoxy resin, nanosilica, hardness, microstructure

Introduction

Epoxy resins are among the most extensively used thermosetting polymers and are essential for electronic [1], automotive [2], and aerospace fields [3] due to their remarkable adhesion, dimensional stability, and chemical resistance. Still, their natural fineness, confined hardness, and relatively low wear limit their structural performance in demanding surroundings. Adding inorganic nanofillers, such as nanosilica(SiO_2), has surfaced as a practical system for enhancing the mechanical and physical properties of epoxy resin systems without compromising their processability, thereby circumventing these limitations [4].

Numerous particles, such as TiO_2 [5], Al_2O_3 [6, 7], SiC [8], and ZnO [9], have been extensively examined as buttressing agents in epoxy resin. Nanosilica (SiO_2) has gained significant attention among these due to its high specific surface area, exceptional chemical stability, and capability to form strong covalent bonds with the epoxy resin network through silane coating. The high severity of silica nanoparticles and the effective transfer of stress at the padding–matrix interface significantly increase the hardness, modulus, and wear resistance of nanosilica-corroborated epoxy resin mixes. Homogeneously dispersed nanosilicas limit the mobility of polymer chains, adding face hardness and crosslink viscosity [10]. The capability of nanosilica to act as a rigid phase within the polymer matrix and to help original plastic distortion under applied cargo is directly related to the increase in hardness. revision of the face of nanosilica with silane coupling agents such as γ-glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPTMS) has been

shown to increase interfacial adhesion, dissipation uniformity, and stress transfer effectiveness, thereby further perfecting hardness and microstructural stability[11].

The shape and spatial arrangement of the nanosilicas have a foremost impact on the mechanical characteristics of the compound from a microstructural standpoint. An invariant microstructure, smaller spots of stress attention, and a smoother, thicker fracture face are all results of a well-dispersed system. Still, by creating microvoids and serving as places for cracks to begin, nanoparticle aggregation can lower overall mechanical integrity. Studies using transmission electron microscopy(TEM) and scanning electron microscopy(SEM) have shown that homogeneous nanosilica dissipation produces thick morphologies and finer microstructures than neat epoxy resin [12].

Density is another important property that provides information about the internal structure and packing effectiveness of nanosilica/ epoxy resin mixes. Because silica has a higher natural density(roughly 2.2 g/ cm ^{3}) than the epoxy resin matrix(approximately 1.2 g/ cm ^{3}), the addition of nanosilica generally results in a thick compound. still, this increase is typically limited and varies depending on the degree of dissipation, curing conditions, and the liability of void conformation. thus, density analysis is a useful parameter for assessing the unity and void content of nanocomposites [13].

In conclusion, adding nanosilica nanoparticles to epoxy resin is a promising system for producing high-performance polymer mixes with enhanced microstructural uniformity, malleable density, and advanced hardness. Understanding the relations between nanosilica dissipation, interfacial cling, and recycling parameters is necessary to optimize these and knitter the accoutrements for structural, coating, and electronic operations.

Materials and Methods.

To produce nanosilica-reinforced epoxy polymer composites, nanosilica particles (99.5 % purity, 15-35 nm) and laminating resin components A and component B were supplied from Graphene Chemical Industries Co., Ltd, and ADS Chemistry, respectively. To form nanosilica-reinforced epoxy composites, nanosized silica particles were additionally poured with weight percentages of 0, 0.5, 1, and 3, and the epoxy resin and hardener (9 g) were weighed. Nanosilica powders and resin were placed in a beaker, and the mixing was carried out by hand for 10 minutes. The hardener is then poured into the beaker as a weight ratio between the resin and hardener of 2. The resulting suspension was mixed for 3 hours by a magnetic stirrer at a speed of 800 rpm. To ensure homogenous distribution, the sample was again mechanically mixed for 5 minutes, and then the sample was dried at room temperature.

Results and Discussion

Figure 1shows the effect of the nanosilica reinforcement on the hardness value of the composites with given ratios. The smallest hardness value was seen at the pure epoxy composites, while the highest value was seen at the sample having 1% wt nanosilica percentages. The addition of the nanosilica leads to a sharp increase in the hardness values since nanosilica successfully hinders plastic deformation and resists indentation. On the other hand, excess nanosilica addition causes to drop of 5 HV due to the clumping of nanosilica.

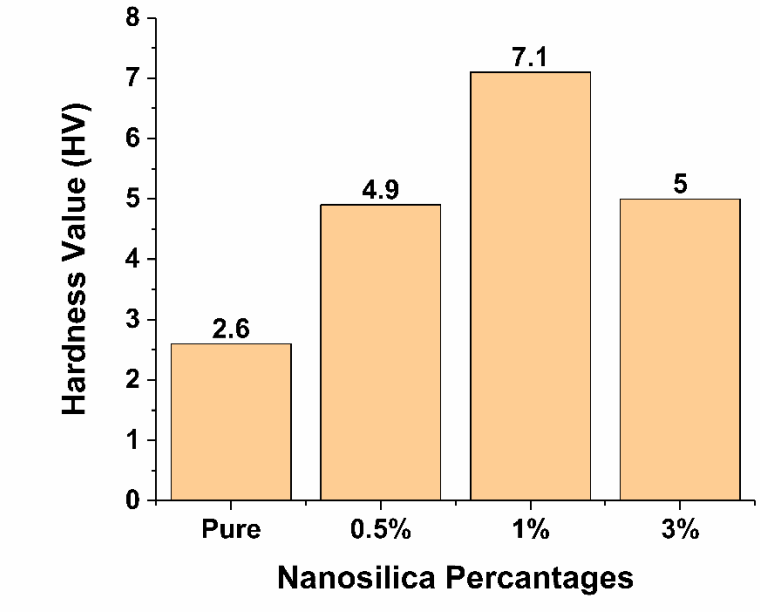
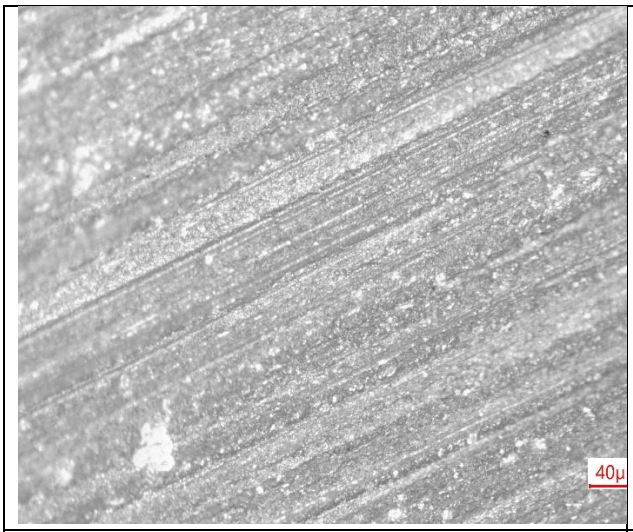
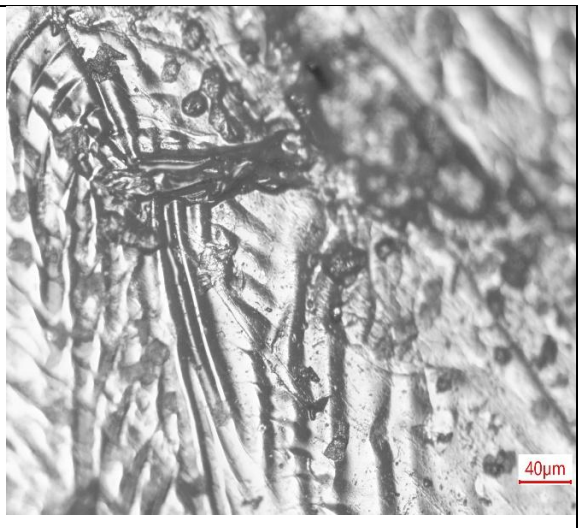
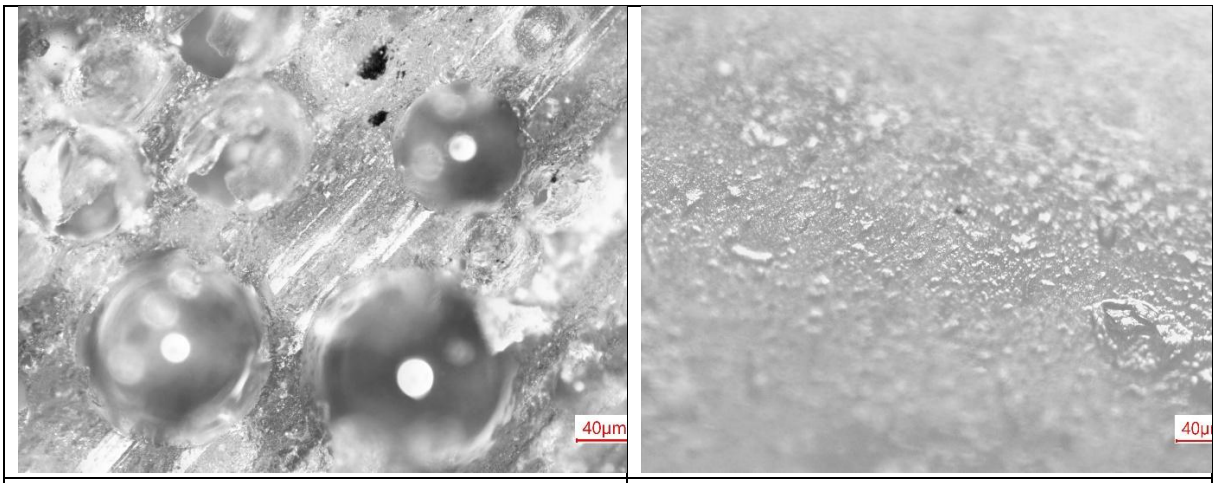


Figure 1 Hardness Values of the given composites

Figure 2 indicates the optical microscope images of nanosilica-reinforced epoxy composites with the percentages of 0%, 0.5, 1%, and 3%. The sample without nanosilica addition displays smooth and striated surfaces. In the case of the sample having 0.5% nanosilica, the surface has a rougher, somewhat fractured, and irregular texture. The sample with 1 wt% nanosilica exhibits large, distinct spherical structures, meaning voids, pores, or poorly dispersed aggregates. This refers to a problem related to homogeneous dispersion of nanosilica or phase separation at this level, which in turn highly non-uniform surfaces. On the other hand, the addition of the 3% wt. nanosilica importantly changes the surface structure of the epoxy resin, moving from a smooth to increasingly complex and granular morphology.

	
Pure	0.5 %



1 %	3 %

Figure 2 Optical microscope images of the given composites

Conclusion

By increasing hardness values, nanosilica reinforcements address the inherent limitations of epoxy systems for the potential usage of aerospace, electronics, and automotive. Results indicate that nanosilica addition acts as a rigid load-bearing phase within the matrix, which in turn relatively high resistance to plastic deformation. The pure epoxy exhibits the lowest hardness and smooth surfaces, while the highest hardness value was seen at the sample having 1 wt% nanosilica, which is the result of well-dispersed nanoparticles that efficiently transferred stress and limited polymer chain mobility. On the other hand, 3 wt. % nanosilica content leads to partial aggregation, resulting in void formation and surface irregularities. This diminishes somewhat hardness values. Furthermore, Optic microscope images reveals that nanosilica addition rougher, denser, and more complex morphologies compared to neat epoxy.

References

[1] C. S. Wang and J. Y. Shieh, "Phosphorus-containing epoxy resin for an electronic application," *Journal of applied polymer science*, vol. 73, no. 3, pp. 353-361, 1999.

[2] K.-B. Sim, J.-H. Back, G.-Y. Han, and H.-J. Kim, "High-performance automotive adhesives with urethane-modified and nanophase-separated epoxy systems," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 190, p. 108652, 2025.

[3] P. Uniyal *et al.*, "A Comprehensive Review on the Role of Nanosilica as a Toughening Agent for Enhanced Epoxy Composites for Aerospace Applications," *ACS omega*, vol. 10, no. 16, pp. 15810-15839, 2025.

[4] S. Sprenger, "Nanosilica-toughened epoxy resins," *Polymers*, vol. 12, no. 8, p. 1777, 2020.

[5] I. A. Al-Ajaj, M. M. Abd, and H. I. Jaffer, "Mechanical properties of micro and nano TiO2/epoxy composites," *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 93-97, 2013.

[6] A. R. Tavadi *et al.*, "Experimental analysis of mechanical properties and FTIR analysis of areca fiber-reinforced epoxy composites incorporating Al2O3," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 55, p. 15280837241313217, 2025.

[7] L.-C. Hao *et al.*, "High-performance epoxy composites reinforced with three-dimensional Al2O3 ceramic framework," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 127, p. 105648, 2019.

[8] M. S. Kumar, C.-H. Yang, H. Pulikkalparambil, F. O. Edoziuno, V. Romanovski, and B. Salah, "Improving Thermal Stability and Dynamic Mechanical Properties of Eco-Friendly Bamboo Fiber-Reinforced Epoxy Composites with SiC Particle Integration," *Fibers and Polymers*, pp. 1-13, 2025.

[9] J. Pathak *et al.*, "Dielectric properties of green synthesized Ag-doped ZnO NPs in epoxy resin polymer nanocomposites," *Journal of Polymer Research*, vol. 32, no. 4, p. 103, 2025.

[10] J. Ma, M.-S. Mo, X.-S. Du, P. Rosso, K. Friedrich, and H.-C. Kuan, "Effect of inorganic nanoparticles on mechanical property, fracture toughness and toughening mechanism of two epoxy systems," *Polymer*, vol. 49, no. 16, pp. 3510-3523, 2008.

[11] T. H. Hsieh, A. J. Kinloch, K. Masania, A. C. Taylor, and S. Sprenger, "The mechanisms and mechanics of the toughening of epoxy polymers modified with silica nanoparticles," *Polymer*, vol. 51, no. 26, pp. 6284-6294, 2010.

[12] Y.-F. Zhang, F.-P. Du, L. Chen, W.-C. Law, and C.-Y. Tang, "Synthesis of deformable hydrogel composites based on Janus bilayer multi-walled carbon nanotubes/host-guest complex structure," *Composites Part B: Engineering*, vol. 164, pp. 121-128, 2019.

[13] F. Hussain, M. Hojjati, M. Okamoto, and R. E. Gorga, "Polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: an overview," *Journal of composite materials*, vol. 40, no. 17, pp. 1511-1575, 2006.

MODELLING OF LASER ABLATION GEOMETRY AND SURFACE ROUGHNESS ON TI6AL4V USING COMSOL MULTIPHYSICS

Res. Asst. Ender Can YAKAR
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
ender.yakar@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9496-0138

Prof. Sinan FİDAN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
sfidan@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4385-4981

Prof. Satılmış ÜRGÜN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrics and Electronics, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey
urgun@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3889-6909

Prof. Mustafa Özgür BORA
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
ozgur.bora@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0921-418X

ABSTRACT

In this study, laser surface processing of Ti6Al4V (Grade 5) alloy was carried out using a fiber laser with varying fluence values. Post-process surface properties were analyzed using 3D profilometry, with focus on surface roughness, ablation depth, and width. Ablation zone area showed increase with increasing laser fluence, and surface roughness decreased beyond a certain fluence threshold. A COMSOL Multiphysics mathematical model of heat transfer was employed to simulate the associated heat phenomena in laser processing. The outcome of this model revealed the spatial and temporary distribution of surface as well as subsurface temperatures for various scanning speeds and powers. High spatial temperature gradients were precisely established as vital for simulating the heat phenomena, especially for processes like melting, vaporization, and solidification of melted substances. Consequently, in laser processing, heating depth, which depends on various processing conditions, has an extreme influence on surface properties. Thus, from a careful evaluation of related heat phenomena, as suggested by extensive experiments and simulation models, it becomes feasible to establish a correlation between laser fluence and surface roughness, as well as ablation zone geometry. This suggests that simulation of heat phenomena in laser processing of titanium alloys provides a beneficial platform for laser processing of these alloys.

Keywords: Laser surface processing, Ti6Al4V, COMSOL Multiphysics, Surface topography, 3D profilometer.

1. INTRODUCTION

The operation of aircraft parts requires the operation of the components under high pressures and temperatures. In the operational environment, there could be the presence of sand, ice, and saltwater that could induce other harmful factors such as wear, scratches, and corrosion to the materials. These factors immediately shorten the life service of the part. The materials chosen for the aviation parts should provide the finest wear, scratch, and corrosion-resistant properties. The foremost group of alloys, titanium alloys, has been developed with the main aim of providing such properties [1]. The titanium alloys provide strength, lightness, and the needed degree of toughness, corrosion, and wear resistances [2]. The titanium alloys are applied mainly in the aviation industry, space-related equipment, gas turbines, rocket guides, and the healthcare industry [3,4]. In the aviation technology field, titanium alloys can be applied mainly due to their strength-weight ratio and mechanical properties and are applied in the following ways: gas turbine fan and compressor blades, structural elements and landing gear, wing to fuselage structural elements, exterior fuselage panels, and helicopter rotor shafts. The titanium alloys are similarly applied in the space technology field due to their ability to resist large differences in temperatures, lightness, and their radiation-resistant properties [5].

Although these alloys possess the aforementioned superior properties, they require applications that will improve their wear and scratch performance in order to be used in aerospace applications. In this regard, it is seen in the literature that, in addition to applications such as coating and nitriding, laser surface modification applications are becoming popular. Laser surface modification is one of the methods used to change the surface and is preferred due to its application efficiency, precision, controlled heat profile, flexibility and environmental sustainability [6,7]. In this process, a sufficiently high-energy laser beam is focused on the material surface and a micro-textured pattern is created by performing localized melting and evaporation events on the material surface [8].

Experimental studies yield real results; however, real experiments require samples and testing infrastructure. As the number of tests increases, the cost of test equipment and sample usage increases. Modeling the system with correct boundary conditions and performing analyses can directly reduce test costs. Thus, the number of tests can be reduced by directly determining the parameters that can yield good results before the tests. In this way, savings in test costs and time can be achieved. COMSOL Multiphysics, ANSYS, Flow-3D and OpenFOAM can be given as examples of finite element analysis programs used to perform this task in the literature [9]. Literature studies using these programs are as follows: Zeng et al. performed analyses in the COMSOL Multiphysics program to examine the effect of dual-laser polishing in their study. Surface roughness was reduced by 84%, from 10.96 μm to 1.818 μm, with CW laser polishing processes. With dual-laser polishing processes, the thickness was reduced by 87%, from 10.96 μm to 1.42 μm. Compared to CW laser, dual-laser polishing resulted in a 21% improvement. When the analysis results were compared with the simulation results, the width and depth error in the melt pool was recorded between 16.6% and 19.3%. It was stated that this situation shows

the evolution of the surface morphology and the accuracy of the melt pool flow behavior [10]. Solheid et al. performed laser polishing on Ti6Al4V material produced by additive manufacturing and tried to predict the heat affected zone (HAZ) and melting zone depth with the heat transfer model they made using COMSOL Moultiphysics 5.4. Hijam et al. proposed that a more accurate evaluation of the adaptability of laser polishing to a particular sample may be obtained by analyzing the characteristics of the phenomena occurring in the material in the laser-polished areas and using the above-mentioned numerical model, which quickly calculates the depth of these areas [11]. The model, based on a numerical simulation of the process, adequately calculated the results obtained for the melt pool diameter and the depth of the melt pool in the case of the CW laser polishing of samples of Ti6Al4V, made using the additive technique. The results of the model's calculations showed a 10% error with respect to the data obtained experimentally. The average value of the reduction in the maximum roughness obtained using laser polishing was 87.6%, leading to a reduction from 10.5 to 1.3 microns. The model results of the melt pool depth, in comparison with the results obtained experimentally, showed that the model generally yielded smaller values because the model approximated the pre-polished rough surface to a flat one, and the effect of the accumulation of energy because of the "light trapping" effect between the hills and the valleys of the rough pre-polished electron beam melted samples was neglected [12]. The model proposed by Pham and Tran calculated the two-dimensional result of the surface topography of the Ti6Al4V alloy, obtained by the technique of laser powder bed fusion, after the laser polishing process. The model adequately estimated the actual rough values obtained experimentally, yielding a maximum error of 6.8% [13]. In this experiment, the surface of a Ti6Al4V grade 5 alloy was exposed to a fiber laser with varying values of laser fluence, and the surface properties that resulted were then observed. The surface properties of the alloy post-processing were analyzed in terms of surface roughness, ablation depth, and ablation width using 3D surface profilometry. The outcome of the experiment revealed that the size of the ablation zone increases with the increase in laser intensity, while the surface roughness falls beyond a critical value. To model the inherent heat effects of the experiment, a finite element model is created using the COMSOL Multiphysics software.

In this study, the analysis of the surface characteristics of Ti6Al4V (Grade 5) titanium alloys were carried out with the use of fiber lasers and different energy density parameters. The parameters of treated surfaces were investigated using 3D profilometrical analysis. To simulate the thermal phenomena in the process, a heat transfer model was developed using COMSOL Multiphysics software. Through this model, the temporal and spatial distribution of surface and subsurface temperatures and phase changes were determşned for different scan rates and power values and compared with 3D profilometrical analysis results. The obtained temperature and phase change gradients were evaluated to gain insight into thermal processes such as melting, ablation, and solidification on the Ti6Al4V material.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Material

The Ti-6Al-4V alloy with commercial purity, extracted from Timed in Kocaeli, in Türkiye, and identified as Grade 5, was utilized as the metallic material in this study. The alpha+beta titanium alloy has widely found applications in diverse sectors like aviation, medicine, automobile, and ships due to its high specific strength, satisfying properties of both fatigue and corrosion resistance, and established biocompatibility. The material has a density of 4.43 g/cm³, which is 40% lower compared to steel, and thus is highly preferable in structural applications that require greater mechanical capability in combination with weight reduction. Ti6Al4V (Grade 5) consists of 90% titanium, 5.5% - 6.75% Aluminum, 3.50% - 4.50% Vanadium, a maximum of 0.40% iron, 0.05% nitrogen, 0.08% Carbon, and 0.015% hydrogen [14].

2.2. Laser Surface Processing

Figure 1 illustrates a schematic representation of the surface processing of Ti6Al4V performed using a 100 W fiber laser. Table 1 shows the laser surface processing parameters for Ti6Al4V used in both experiments and finite element analysis. The laser surface processing parameters were calculated for laser fluence values of 10.19 J/cm², 15.28 J/cm², and 20.37 J/cm², as shown in Table 1. These laser influence values were determined to increase gradually and were selected to observe the effect of laser influence values after laser processing on the roughness depths and specify laser parameters for comparing experimental results and simulation results for verifying the simulation method. The values of laser powers and scan speeds used in experiments and analysis were calculated from values of laser fluence shown in Table 1.

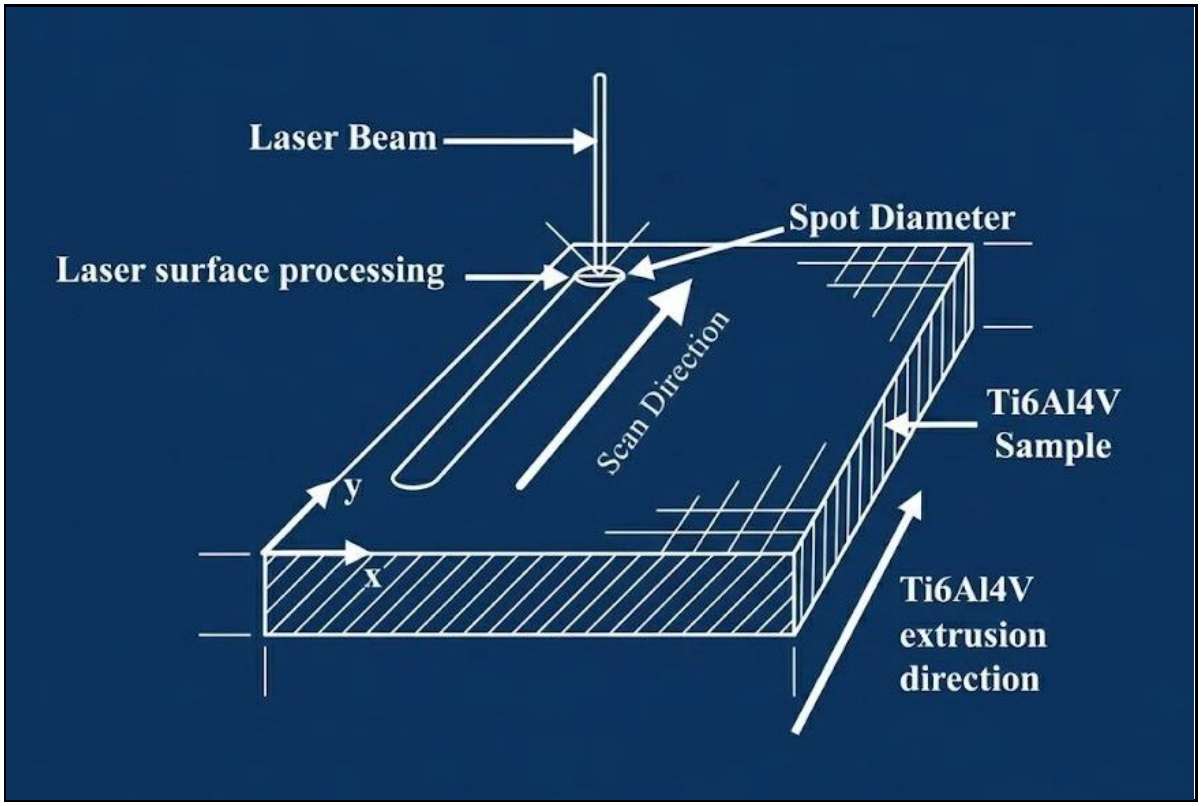


Figure 1. Laser Surface Processing Schematic of Ti6Al4V

Table 1. Laser Surface Processing Parameters of Ti6Al4V

Exp. No.	Laser Fluence (J/cm^2)	Pulse Energy (mJ)	Laser Power (W)	Scan Speed (mm/s)
1	10.19	0.2	20	1500
2	15.28	0.3	30	2500
3	20.37	0.4	40	2000

2.3. COMSOL Multiphysics Simulation

To determine the effective depth of thermal contours in the COMSOL Multiphysics program, a model was created based on the sample cross-section, and the fiber laser heat flux was modeled according to the varying configurations shown in Table 1. At the end of the experiments, the changes occurring on the sample surface were examined using a 3D profilometer, and the results obtained were compared with the analysis results from COMSOL Multiphysics.

Figure 2 shows the mesh structure of the modeling. Figure 2 represents the cross-section of the sample, and the thickness of the Ti6Al4V specimens is 3 mm. The laser heat flux is applied through Boundary 2 as shown in Figure 2 and it is defined as moving heat flux. Scan speeds were applied through Boundary 2 as shown in Table 1. Cooling and radiation losses were defined through Boundaries 1, 3, and 4. Thermal insulation was defined through Boundary 5. The numerical mesh structure is extremely fine in the region close to where the laser is applied, while it is defined more coarsely in the part considered less affected by heat to ensure efficient simulation time. The thickness of the dense mesh structure is 1 mm, which is sufficient for determining the temperature profile.

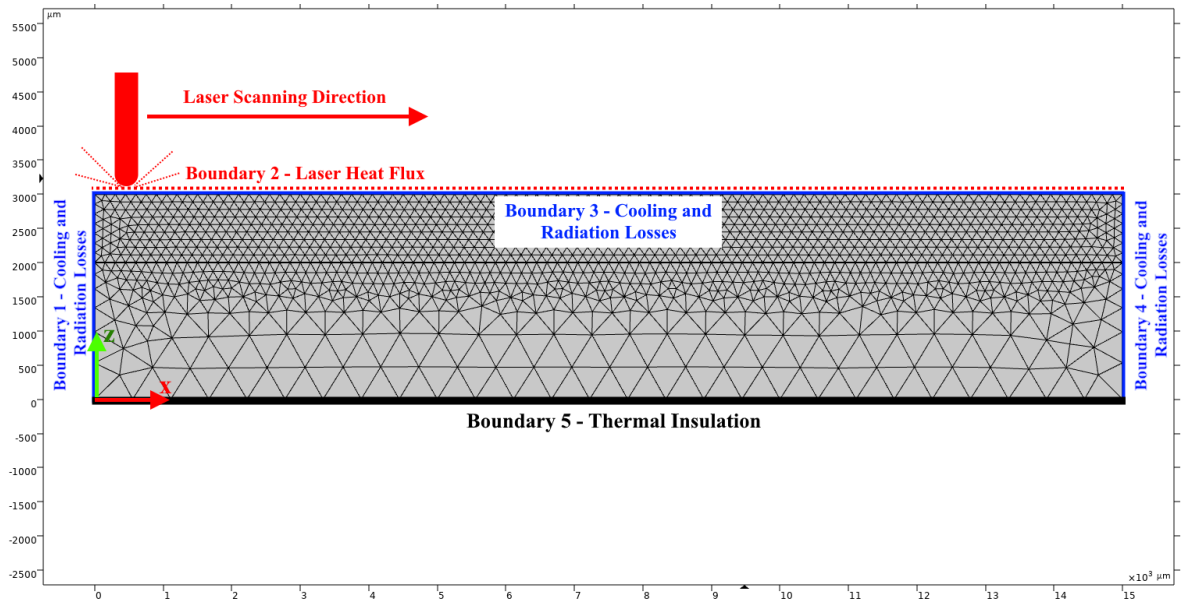


Figure 2. Boundary Conditions Defined in Comsol Multiphysics 6.2 For The Ti6Al4V Specimen

The effect of the laser applied to Ti6Al4V samples was investigated with the temperature contour output in the program. The necessary properties of Ti6Al4V Grade 5 were extracted from the program's own library. The necessary properties are density, thermal conductivity coefficient and heat capacity at constant pressure. These properties are as shown in Table 2 for solid and liquid phases [15].

Table 2. Thermal Conductivity, Density and Specific Heat Capacity Values of Ti6Al4V [15]

Parameter	Abbreviations	Values
Thermal conductivity coefficient in the solid phase [W/(m.K)]	k_s	21
Thermal conductivity coefficient in the liquid phase [W/(m.K)]	k_l	29
Density in the solid phase (kg/m^3)	ρ_s	4420
Density in the liquid phase (kg/m^3)	ρ_l	4000
Specific heat capacity in the solid phase [W/(m.K)]	C_{p-s}	670
Specific heat capacity in the liquid phase [W/(m.K)]	C_{p-l}	831

After laser surface treatment, there will be a temperature change on the Ti6Al4V surface. This temperature change has been interpreted based on the phase temperatures of Ti6Al4V. The phase change temperatures of Ti6Al4V are expressed in Table 3 [16].

Table 3. Thermophysical Properties of Ti6Al4V [16]

Parameter	Abbreviations	Values
Solidus temperature (K)	T_s	1877
Liquidus temperature (K)	T_l	1923
Melting point (K)	T_m	1900

According to Table 3, the solidus temperature (T_s) of the material is 1877 K, and the melting temperature (T_m) is 1900 K. The alloy transitions completely to the liquid phase after liquidus temperature (T_l) of 1923 K. The transitions between the solid and liquid phases occur between the solidus temperature (T_s) and liquidus temperature (T_l). Calculating the melting rate is used to characterize the transition stage. In this analysis, a temperature below T_s represents the solid phase, a temperature above T_l represents the liquid phase, and a temperature range between T_s and T_l represents the transition stage. With this analysis, the simulation of the susceptibility of a specific area to melting due to laser heating flux in COMSOL Multiphysics can provide data on the boundaries of heat-affected zones. For this analysis, the laser heat flux in the COMSOL Multiphysics is defined as "Heat Flux" in the "Heat Transfer in Solids" section and modeled as a function of time. Energy losses are defined as heating by natural convection and radiation.

2.4. Surface Roughness Characterization

The surface topography of the Ti6Al4V was determined using a non-contact laser profilometer named Nanovea PS50. This technology enabled the visualization of the exactness of surface roughness parameters without any need for physical contact with the material. The data in the raw state were analyzed by using the DigitalSurf application-only version 6.2.7487, provided by Mountains Technology. This consequently allowed the generation of three-dimensional surface topography representations according to the specifications laid by the ISO 25178 standards. Moreover, the images that were required for carrying out the analysis of the laser-induced surface topographies were generated in accordance with what was stipulated under the ISO 4287 standards. The laser profilometer allowed a thorough overview of all the laser processed surfaces by scanning the sample surfaces, which have been hit with various laser settings through a processing line. The present analysis will be taken from samples exposed to laser surface processing, as one may observe laser fluence levels from the given table. It aimed to precisely characterize surface changes induced on Ti6Al4V with laser fluence values of 10.19 J/cm², 15.28 J/cm², and 20.37 J/cm².

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Roughness Characterization

Figure 3 shows three-dimensional maps of Ti6Al4V samples laser-treated with a fluence of 10.19, 15.28, and 20.37 J/cm² for experiments 1, 2, and 3, respectively. During experiment 1 with a fluence of 10.19 J/cm², it can be noted that the laser ablation area has a relatively shallow,

irregular, and intermittent profile with a series of pits and melt pools, which suggests that this group of experiments has a laser fluence just above the threshold for laser ablation. Increasing the fluence to 15.28 J/cm² in Exp-2 produces a more continuous processing line with enlarged ablation width and peak-to-valley height (Z range up to about 35 µm), while the surrounding surface still exhibits pronounced asperities and re-solidified splashes. At the highest fluence of 20.37 J/cm² (Exp-3), the profilometry map reveals a clearly developed, deeper groove aligned with the scan direction (Z range approaching 46 µm) and a more uniform morphology on the adjacent shoulders, which suggests more stable melting–re-solidification and partial smoothing of the initial roughness. Overall, the evolution from Exp-1 to Exp-3 confirms that increasing laser fluence enlarges the ablation zone and modifies the roughness state of the Ti6Al4V surface in a manner consistent with the trends targeted in the COMSOL-based thermal modelling.

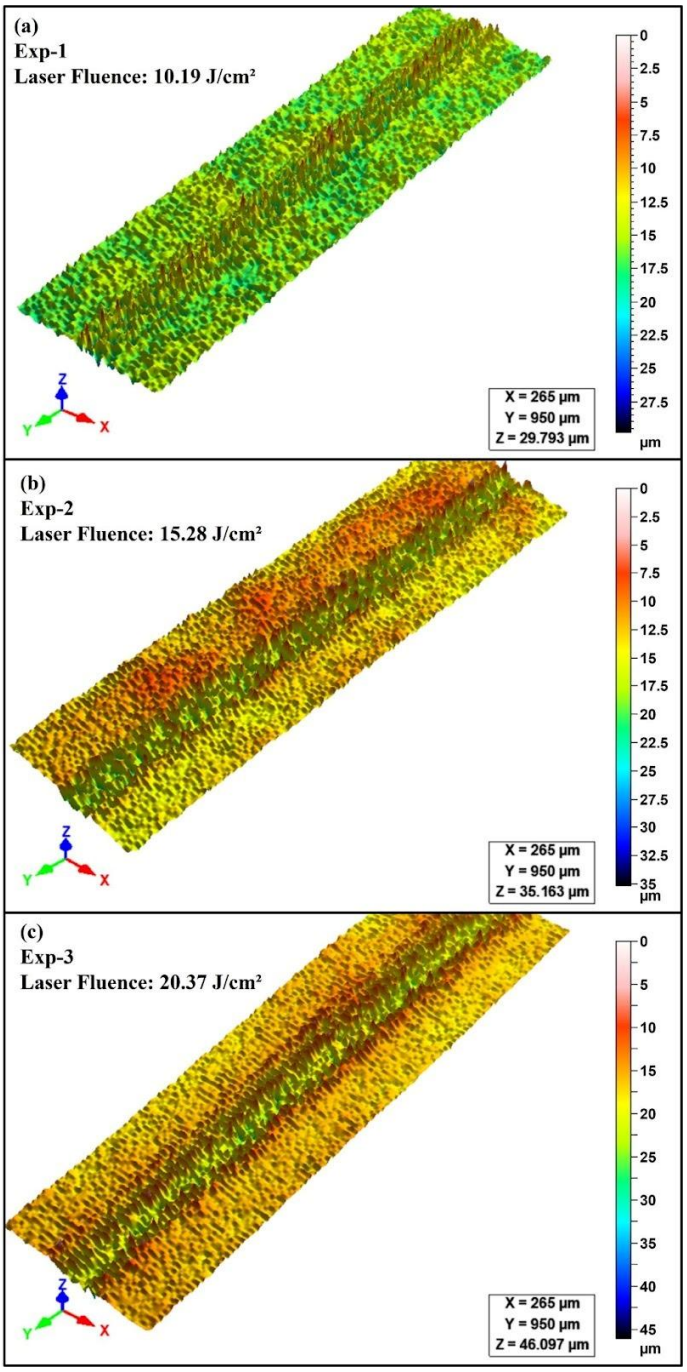


Figure 3. Laser Processed Ti6Al4V Surface 3D Topography Maps and Surface Morphologies; (a) Exp-1, (b) Exp-2, (c) Exp-3 .

Figure 4 displays the line scan depth profiles of laser-treated Ti6Al4V samples for three different fluence values, which reveal how the depth of ablation starts to increase with an increase in fluence. With a low fluence of 10.19 J/cm², as in experiment no. 1, a moderate waviness with a depth of 12 µm in the groove area, rather than a sharp deep groove, has been obtained. With an increase in fluence to 15.28 J/cm², as in experiment no. 2, a slight increase in waviness with a depth of 13 µm has been seen. In contrast, Exp-3, processed at the highest fluence of 20.37 J/cm², shows a distinct and localized ablation cavity with a maximum depth of 23 µm, while the surrounding regions remain close to the baseline roughness level. This clear increase in maximum penetration depth with laser fluence confirms a strong fluence-dependent ablation behaviour and provides quantitative input for validating the COMSOL-based thermal modelling of laser–material interaction on Ti6Al4V.

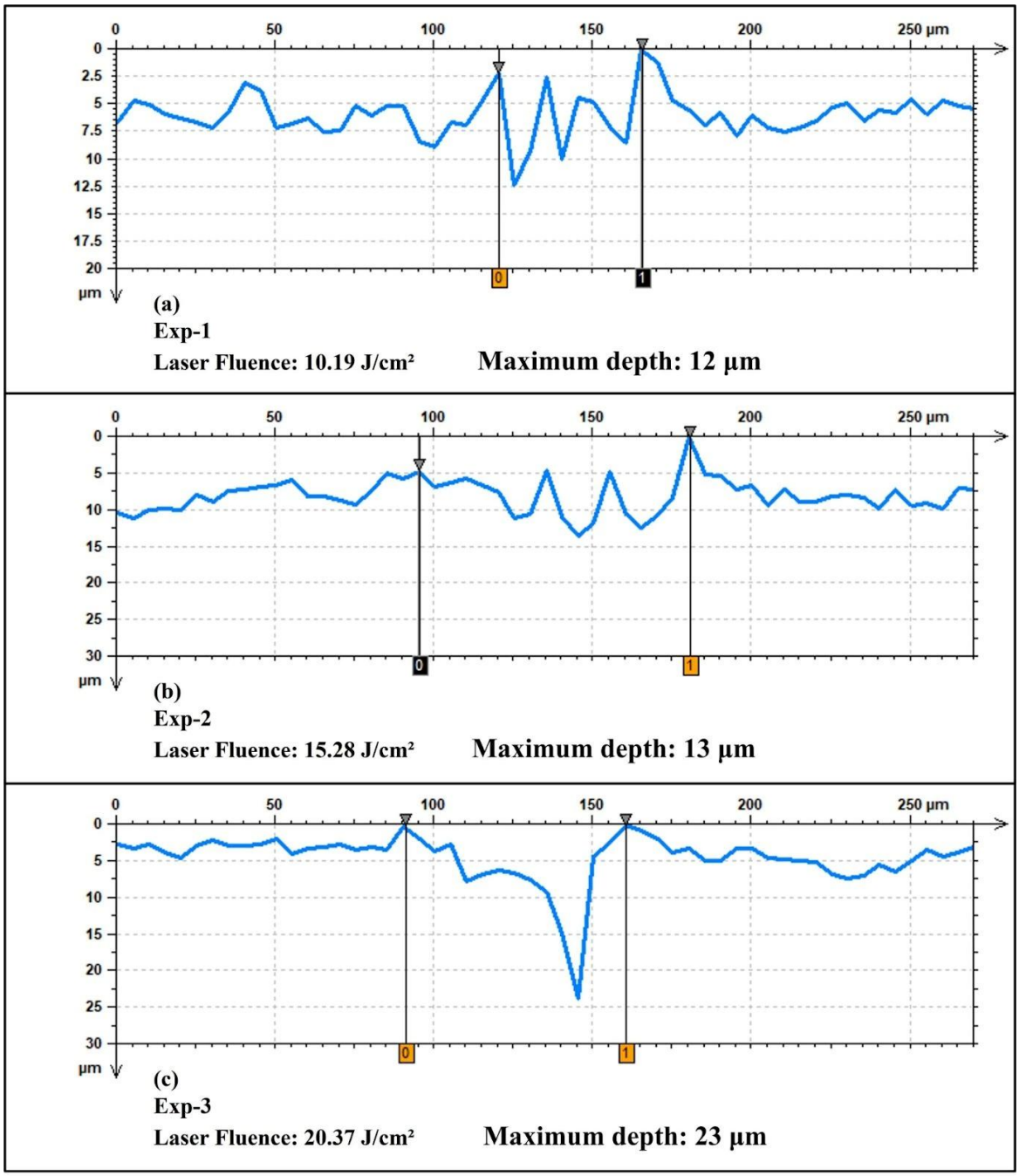


Figure 4. Laser Processed Ti6Al4V Surface Line Depth Comparison; (a) Exp-1, (b) Exp-2, (c) Exp-3 .

3.2. Simulation Results

The mean thickness values for the corresponding high temperature regions extracted from both experimental results of laser processing traces as well as the simulation results are given below. The etched depths as indicated in Figure 3 are 12 µm at a fluence value of 10.19 J/cm², 13µm at 15.28 J/cm², and 23µm at 20.37 J/cm². In Figures 5-a, c, e, when looking at the average depth values of the yellow regions where the temperature contours completely exceed the liquidus temperature of 1923 K, it is seen that the depths are approximately 17 µm for 10.19 J/cm², approximately 18 µm for 15.28 J/cm², and approximately 21 µm for 20.37 J/cm². This shows

that the values obtained for the simulations are within reasonable levels and can be useful in determining the depth at which the laser heat flux can be effective. Looking at Figures 5-b, d, e, it can be seen that the depth values of the liquefied regions are less than 25 µm. This is an indication that the modeling can provide reasonable values.

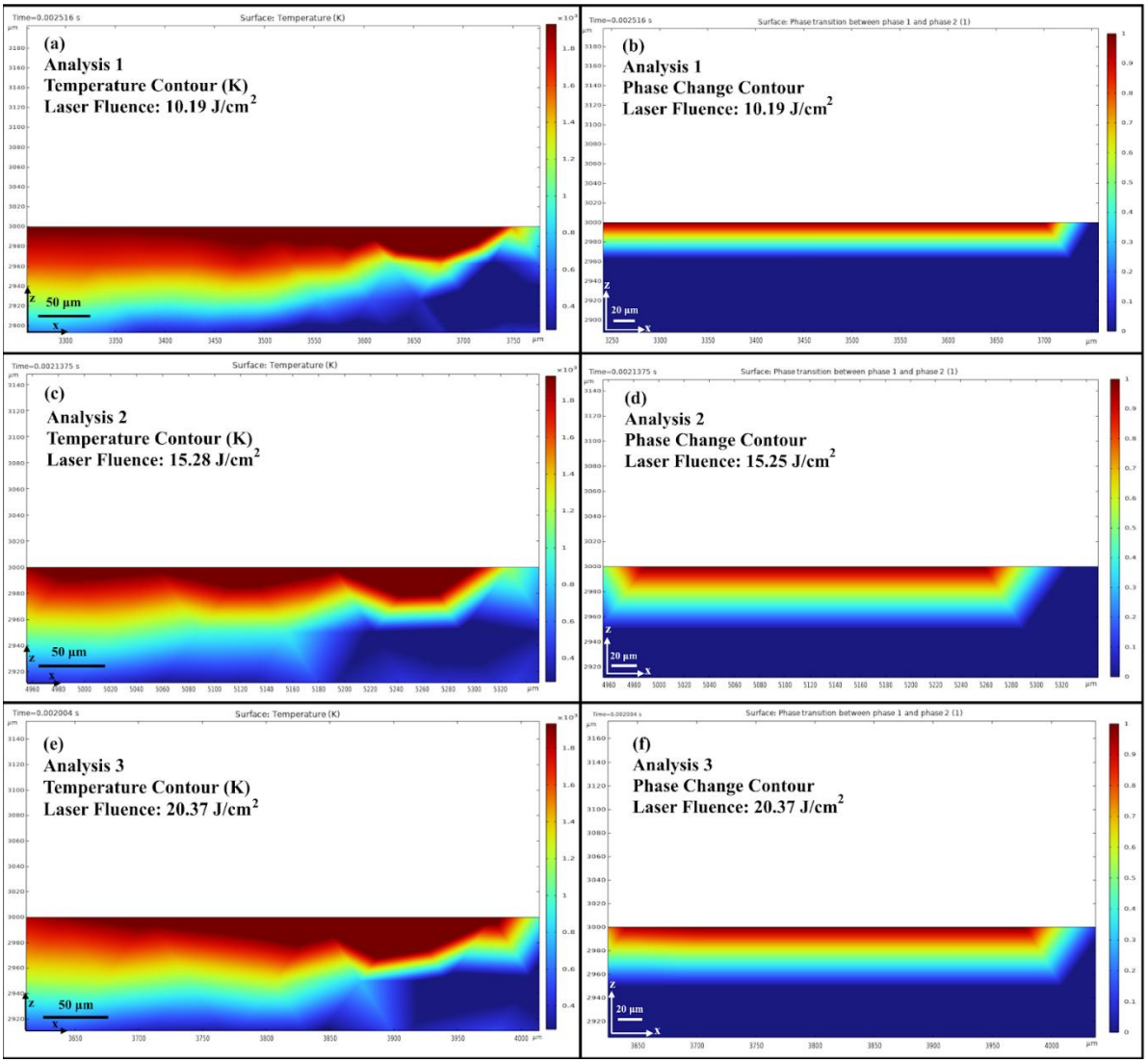


Figure 5. Simulation Results of Laser Processing Analyses; (a) Analysis 1 Temperature Contour (K), (b) Analysis 1 Phase Change Contour, (c) Analysis 2 Temperature Contour (K), (d) Analysis 2 Phase Change Contour (e) Analysis 3 Temperature Contour (K), (f) Analysis 3 Phase Change Contour.

4. CONCLUSIONS

Overall, this study demonstrates that fiber laser processing of Ti6Al4V (Grade 5) produces a strongly fluence dependent evolution in ablation geometry and surface morphology. Increasing the laser fluence from 10.19 to 15.28 and 20.37 J/cm² progressively transformed the processed track from a shallow and intermittent ablation signature to a more continuous groove with a more stable re melted and re solidified morphology, while the ablation depth increased from 12 µm and 13 µm to 23 µm at the highest fluence, confirming enhanced material removal and

thermal penetration at elevated energy density. Consistent with these experimental observations, the COMSOL heat transfer model captured the spatial and temporal temperature fields and yielded liquefaction contour depths of approximately 17 µm, 18 µm, and 21 µm for the same fluence levels, with liquefied regions remaining below 25 µm, indicating that the simulation provides a practically reliable estimate of the effective thermal influence depth for predicting ablation scale and supporting parameter selection. Taken together, the combined 3D profilometry and finite element thermal modelling framework establishes a direct correlation between laser fluence, resulting surface roughness state, and ablation zone geometry, and therefore offers a robust basis for optimizing laser processing conditions on titanium alloys while reducing experimental iteration cost.

REFERENCES

1. Boyer, R. R. An Overview on the Use of Titanium in the Aerospace Industry, Materials Science and Engineering: A, 213, 1-2, 1996.
2. Oukach, S., Pateyron, B., Pawłowski, L. Physical and Chemical Phenomena Occurring Between Solid Ceramics and Liquid Metals and Alloys at Laser and Plasma Composite Coatings Formation: A Review, Surface Science Reports, 74, 3, 2019.
3. Zhao, Q., Sun, Q., Xin, S., Chen, Y., Wu, C., Wang, H., Zhao, Y. High-Strength Titanium Alloys for Aerospace Engineering Applications: A Review on Melting-Forging Process, Materials Science and Engineering: A, 845, 143260, 2022.
4. Kumar, P. S. R., Mashinini, P. M. Titanium Alloys for Aerospace Structures and Engines, Aerospace Materials, 227-253, 2025.
5. M'Saoubi, R., Axinte, D., Soo, S. L., Nobel, C., Attia, H., Kappmeyer, G., Engin, S., Sim, W. M. High Performance Cutting of Advanced Aerospace Alloys and Composite Materials, CIRP Annals, 64, 2, 2015.
6. David, R., Bannaravuri, P. K., Rao, G. B., Jestine, C., Joy, R., Masepogu, W. K. Effects of Fiber Laser Treatment on Properties of Ti-64 Alloy, Materials Today: Proceedings, 2023.
7. Wu, S., Wang, Y., Jiang, X., Hu, S., Yao, C., Dong, B., Ma, C., Lu, L., Chen, J. Bioinspired Femtosecond Laser Surface Texturing for Enhancing Tribological Properties of Ti6Al4V Titanium Alloy, Tribology International, 110987, 2025.
8. Melo-Fonseca, F., Guimarães, B., Gasik, M., Silva, F. S., Miranda, G. Experimental Analysis and Predictive Modelling of Ti6Al4V Laser Surface Texturing for Biomedical Applications, Surfaces and Interfaces, 35, 102466, 2022.
9. Weeks, C. M., Myers, A. J., Malen, J. A., Singh, S. Validation of Openfoam Modeling of Additive Manufacturing Melt Pool Dynamics Against Geometric and Thermal Experiments, Journal of Manufacturing Processes, 152, 237-249, 2025.
10. Zeng, J., Zhang, W., Guo, T., Lou, Y., Wang, W., Zhao, Z., Wang, C. Numerical and Experimental Analysis of Dual-Beam Laser Polishing Additive Manufacturing Ti6Al4V, Micromachines, 14, 9, 2023.
11. Solheid, J. S., Mohanty, S., Bayat, M., Wunsch, T., Weidler, P. G., Seifert, H. J., Pfleging, W. Laser Polishing of Additively Manufactured Ti-6Al-4V: Microstructure Evolution and Material Properties, Journal of Laser Applications, 32, 2, 2020.
12. Hijam, J., Gupta, R., Vadali, M., Arora, A. Modeling and Performance of Continuous Wave Laser Polishing of Electron Beam Melted Ti6Al4V, Manufacturing Letters, 33, 232-241, 2022.

13. Pham, D. P., Tran, H. C. Multi-Physics Simulation for Predicting Surface Roughness of Laser Powder Bed Fused Parts After Laser Polishing, Additive Manufacturing, 94, 104486, 2024.

14. Leyens, C., Peters, M., Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications, Wiley-VCH, 2003.

15. Li, K., Zhou, H., Zhao, Z., Zhou, H., Yin, J., Jin, J. A Study on Transient Molten Pool Dynamics in Laser Polishing of Ti6Al4V Using Numerical Simulation, Journal of Manufacturing Processes, 65, 478-490, 2021.

16. Li, K., Zhao, Z., Zhou, H., Zhou, H., Jin, J. Numerical Analyses of Molten Pool Evolution in Laser Polishing Ti6Al4V, Journal of Manufacturing Processes, 58, 574-584, 2020.

ASSESSMENT OF EXPERIMENTAL VARIABLES IN FIBRE LASER PROCESSING OF TI6AL4V ALLOY UTILISING COMSOL SIMULATION

Res. Asst. Ender Can YAKAR
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
ender.yakar@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-9496-0138

Prof. Sinan FİDAN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
sfidan@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4385-4981

Prof. Satılmış ÜRGÜN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrics and Electronics, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey
urgun@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3889-6909

Prof. Mustafa Özgür BORA
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey.
ozgur.bora@kocaeli.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0921-418X

ABSTRACT

The current work focuses to examine the correctness of results acquired from the analyses performed in the software named COMSOL Multiphysics for laser processing optimization in terms of adjusting the results to modify the surface topography of Ti6Al4V alloy. The current work investigates the effect of laser power and scanning velocity to understand the resulting surface pattern and correlate the results with temperature contours in the analyses conducted in the software named COMSOL Multiphysics. The laser fluence values determined for the current work were 10.19 J/cm^2, 15.28 J/cm^2 and 20.37 J/cm^2, respectively. The results of the current work clearly illustrate that the increase in the value of laser power generates irregular surface topography due to the highest rate of ablation of the material in the process. The comparison analyses performed in the software named COMSOL Multiphysics clearly illustrate that the average thickness of the area where melting and modification occurred has been measured to be identical to the values measured from the optical microscopy images taken in the current work. The current work has the importance to save the cost and time involved in the processes of investigation and thereby limit the utilization of samples and equipment in the processes.

Keywords: Laser Processing, Ti6Al4V, COMSOL Multiphysics, Simulation, Numerical–experimental validation

1. INTRODUCTION

In aviation applications, the components that make up the aircraft are exposed to high pressures and temperatures, as well as conditions such as sand, ice, seawater, and saltwater depending on the operating environment. Each of these elements causes adverse events such as wear, scratching, and corrosion on the material, directly affecting the lifespan of the components. For this reason, it is desirable for components used in aviation to have very good wear, scratch, and corrosion resistance. Titanium alloys are among the materials used to achieve this goal [1]. Titanium alloys are materials that provide high strength-to-weight ratios, high toughness, and superior corrosion and wear resistance [2-4]. The main areas of application for these alloys are aviation and space applications, gas turbines, rockets, nuclear, chemical containers, and increasingly, biomedical applications [2]. Due to its high strength/weight ratio, it is used in wing connection structures, landing gear and fuselage structural parts in aircraft, due to its high corrosion resistance, in fuselage outer panel surfaces, in gas turbine fan blades, compressor blades and exhaust parts, and in helicopter rotor shafts and dynamic components because of its resistance to high temperature and stress conditions [5].

In space-related technology, titanium alloys are preferred due to their resistance to high differences in temperature, their resistance to radiation, and their low density. However, this in itself would not be sufficient. To use these materials in aerospace applications, applications aimed at improving their wear and scratch performance are required. Making titanium suitable for harsh conditions in aerospace applications is crucial. The literature shows that various applications have been carried out to improve the wear and scratch performance of this material. Among these applications, the use of laser surface modification is popular [6-8]. Laser surface modification is one of the surface modification methods used to modify the surface and is preferred due to its beam quality, efficiency, precision, flexibility, accuracy, and environmental sustainability. In this process, a high-energy laser beam is focused on the surface of the material, and a micro-textured pattern is created by localized melting and vaporization of the material [9].

Although these experimental studies lead to real results, they require elements such as samples and test infrastructure. Increasing the number of tests increases the cost. Using finite element analysis to accurately model the system has a positive effect on reducing test costs. By using finite element analysis programs, the best possible parameters can be determined before starting the tests; in this way, the use of necessary test equipment and samples can be reduced, saving time and cost. COMSOL Multiphysics, ANSYS, Flow-3D and OpenFOAM can be given as examples of finite element analysis programs used to perform this task in the literature [10]. It is possible to find studies in the literature that have been done using this program. In their study, Li et al. investigated the polishing process of Ti6Al4V with a continuous wave (CW) fiber laser, which they considered as a distributed heat source applied from above. A two-dimensional (2D) axially symmetric and transient model was established in COMSOL Multiphysics to simulate the formation process of the Ti6Al4V surface after laser heating and subsequent cooling to create a molten pool. This model revealed the evolutionary mechanism of the physical processes related to heat transfer, heat radiation, heat convection, melting and solidification during the

polishing process. To confirm the accuracy of the simulation model and to investigate the effect of laser irradiation time on the material, the surface topography of the polished sample was examined. Comparison of simulation and experimental results indicated that the errors in the depth and width of the remelting zone were between 8% and 22%, respectively [11].

Wang et al. analyzed the effects of laser power, scan speed, and pulse frequency on laser polishing of alumina ceramic surfaces using orthogonal experimental design. With optimum conditions, Ra values were reduced by 65%, from 1.624 μm to 0.549 μm. A two-dimensional model formulated in COMSOL Multiphysics showed that material transport in a melt pool occurred from peaks to valleys due to capillary forces, leading to a flattened surface. The maximum deviation between simulation and experimental data was set to 17.8%, proving the validity of the model [12]. In another research, Li et al. formulated a two-dimensional axi-symmetrical model using COMSOL Multiphysics to simulate the changes in surface morphology and melt pool characteristics in laser polishing. Results revealed that melt flow was dominated by thermocapillary and capillary forces, whereas evaporation of melt produced rebound pressure, forming asperities in the surface. The moving heat source simulation showed that an initial ridge followed by a final pit would form on a laser-polished surface. The deviations of remelting depth between simulation and experiments were between 7.2% and 19.6%, proving validity of this simulation model as well [13].

Ma et al. established a two-dimensional, axially symmetric finite element model that coupled heat transfer and fluid flow in COMSOL Multiphysics. This enabled analysis of laser micropolishing of Ti6Al4V alloys. Their work precisely described the distribution of temperature and velocity as well as changes in the free surface. Simulations concerning melt depth and surface distribution were consistent with experimentally measured cross-sections. Their experiment showed that longer pulse durations of a laser increased melt flow, and that a critical pulse duration of 0.66 μs marked the transition between capillary forces and thermocapillary forces. These results reinforced model validity and served as a platform for further parametric studies in this area [14]. Li et al. in 2023 modeled a three-dimensional transient finite element model in COMSOL Multiphysics. This enabled an analysis of temperature and stress distribution in a single laser scan. Experimental validation showed that melt area width was in agreement with numerical simulation. Their experiment showed that high temperatures with steep spatial variation near a heat source cause stress, with differences between simulation values and melt area width measured experimentally being below 10% for most of their data [15]. A two-dimensional model was also produced by Li et al. for studying the effects of Ti6Al4V surface morphologies on laser polishing using COMSOL Multiphysics. This model encompasses melt flow phenomena, including heat conduction, melting, and convection. Their experiments indicated that a homogeneous distribution of melt flow with a laser ensured melt flow stabilization, which enhanced polishing. Higher cooling rates decreased melt lifetime, which prevented de-smoothing effects but rather caused a secondary roughness. Double spiral Marangoni swirls were determined as a cause of depressions as well as hills in surface edges. Differences between simulation values and experimental values of depression

depths were restricted to 2 μm, with error rates of 8.3% to 14.3%, validating model correctness and authenticity in their studies [16].

This study examines how accurately a finite element model developed using COMSOL Multiphysics software simulates laser-induced surface modifications of Ti6Al4V alloys. The key focus of this paper is to validate and verify the accuracy of this model by comparing results from experiments with those obtained from simulation to confirm surface modifications for different values of laser power and scanning speed parameters. Depending on the success of the method, the study aims to develop a methodology based on accurate predictions that can significantly reduce experimental costs and time in parameter optimization for laser surface treatments such as laser polishing, laser ablation etc. In the experimental part, the geometric characteristics (especially the track width) of the patterns formed on laser-modified surfaces were measured with an optical microscope, and these data were quantitatively compared with the temperature distribution contours and melting zone predictions obtained from the simulation.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Material

Grade 5 Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) is one of the most used titanium alloys in relation to their high strength-to-weight ratio, superior corrosion resistance, and superior biocompatibility. Ti-6Al-4V has been found to be greatly in use in the aviation industry due to their mechanical and physical properties, making it very suitable for structural use, which requires high performance in terms of tensile strength and durability. The chemical composition of Ti-6Al-4V contains around 90% titanium, 5.5% to 6.75% aluminum, 3.50% to 4.50% vanadium, with a maximum of 0.40% iron, 0.05% nitrogen, 0.08% carbon, and 0.015% hydrogen as shown in [17]. The properties of Ti-6Al-4V make it very flexible for use in various important sectors like aviation, medical, automobile, and shipbuilding. The Grade 5 titanium alloy used in this experiment comes from Timed (Kocaeli - Türkiye).

2.2. Laser Surface Processing

Figure 1 shows a schematic of the surface treatment of Ti6Al4V with a 100W fiber laser. Table 1 below shows the laser surface treatment parameters of Ti6Al4V used in both the experimental study and FEA simulation. The parameters used in surface treatment were determined as values of laser fluence: 10.19 J/cm^2, 15.28 J/cm^2, and 20.37 J/cm^2, among others, as indicated in Table 1. The laser powers and scan speeds used in the experiment design and simulation were set using values related to laser fluence, as also shown in Table 1.

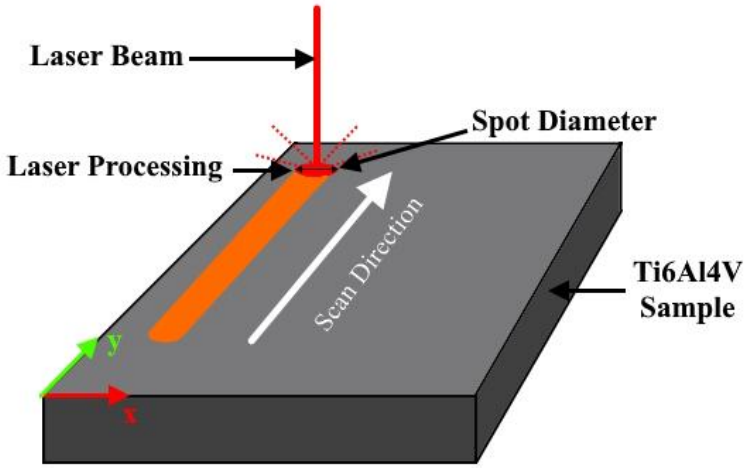


Figure 1. Laser Surface Processing Schematic of Ti6Al4V

Table 1. Laser Surface Processing Parameters of Ti6Al4V

Exp. No.	Laser Fluence (J/cm^2)	Pulse Energy (mJ)	Laser Power (W)	Scan Speed (mm/s)
1	10.19	0.2	20	1500
2	15.28	0.3	30	2500
3	20.37	0.4	40	2000

2.3. Optical Microscope Surface Characterization

The surface analysis of laser-treated Ti6Al4V samples was performed using an Evident-Olympus BX53 MRF optical microscope. This microscope has the ability to provide high-resolution images, hence assisting in a detailed analysis of the structural properties of laser-treated surfaces. The versatile nature of the BX53 MRF microscope's range of magnifications was utilized in analyzing minute surface features, defining surface roughness, as well as determining laser-induced defects. Morphological analysis of both specimen surfaces was done with a goal of analyzing the effects of different laser processing conditions on sample surfaces.

2.4. COMSOL Multiphysics Analysis

To evaluate the accuracy of the analysis performed in the COMSOL Multiphysics programme, surface modification on the Ti6Al4V alloy was modelled using a fibre laser according to the configurations in Table 1 within the programme. At the end of the experiments, the changes on the sample surface were examined, the necessary measurements were taken, and the results were compared with the analysis results obtained in the COMSOL Multiphysics programme.

In this study, the effect of the laser to be applied to the Ti6Al4V material was examined in terms of temperature output using the COMSOL Multiphysics 6.2 programme. All properties required by the simulation programme for the Ti6Al4V Grade 5 material are available in the programme's own library and are defined as a function of temperature. The properties used by the programme from its own library are density, thermal conductivity coefficient, and heat capacity at constant pressure. The thermal conductivity, density, and specific heat capacity values of Ti6Al4V are as shown in Table 2 [13].

Table 2. Thermal Conductivity, Density and Specific Heat Capacity Values of Ti6Al4V [13]

Parameter	**Abbreviations**	**Values**
Thermal conductivity coefficient in the solid phase [W/(m.K)]	k_s	21
Thermal conductivity coefficient in the liquid phase [W/(m.K)]	k_l	29
Density in the solid phase (kg/m^3)	ρ_s	4420
Density in the liquid phase (kg/m^3)	ρ_l	4000
Specific heat capacity in the solid phase [W/(m.K)]	C_{p-s}	670
Specific heat capacity in the liquid phase [W/(m.K)]	C_{p-l}	831

A temperature change is inevitable on the surface of Ti6Al4V following laser surface treatment. To interpret this temperature change, the phase transition temperatures of Ti6Al4V must be known. The thermophysical properties of Ti6Al4V are as shown in Table 3 [11].

Table 3. Thermophysical Properties of Ti6Al4V [11]

Parameter	**Abbreviations**	**Values**
Solidus temperature (K)	T_s	1877
Liquidus temperature (K)	T_l	1923
Melting point (K)	T_m	1900
Boiling temperature (K)	T_b	3315

In laser surface processing, melt or ablation occurs as a result of heating of the surface, requiring analysis of the variation in surface temperature in relation to the thermophysical properties of the material. The liquefaction temperature, T_l = 1923 K, which marginally exceeds the melt temperature of the material, T_m = 1900 K, and the solidification temperature, T_s = 1877 K,

which marginally proceeds T_e, can be used for definition of the heat-affected zone. The transition between solid and liquid phases takes place in this range of temperatures. Calculation of the melt fraction is used for characterization of the transition stage. In this analysis, a temperature below T_s represents a solid, a temperature above T_l represents a liquid, and a temperature range between T_s and T_l represents a transition stage. With this analysis, simulation of vulnerability to melt for a particular area due to laser heating flux in COMSOL 6.2 software provides data related to the boundaries of heat-affected zones. The laser heat flux in COMSOL 6.2 software simulation for this analysis has been defined as "Heat Flux" in "Heat Transfer in Solids" and modeled as a function of time. There are two types of energy lost in this design. These energy types are natural convection heating and radiation.

The mesh structure is as shown in Figure 2. The laser heat flux was applied in a moving manner over Boundary 5 in the direction of the laser scan. At the same time as this heat flux was applied, cooling and radiation losses were defined on Boundary 1, Boundary 2, Boundary 3, and Boundary 4. These two elements constitute the cooling physics of the sample during the laser surface shaping process. The mesh pattern is defined as 'free mesh', which is the mesh type recommended by the programme for the problem. In the centre of the rectangular shape representing the sample, symmetrical to the line through which the laser beam passes, sections with a thickness of 4 mm on each side have been defined within the programme using the 'Layers' option. The densest mesh pattern, using the 'Extremely Fine' option within the mesh type automatically defined by the programme for the problem in question, has been applied to this section. A coarser mesh pattern has been applied to the remaining sides to reduce the simulation time.

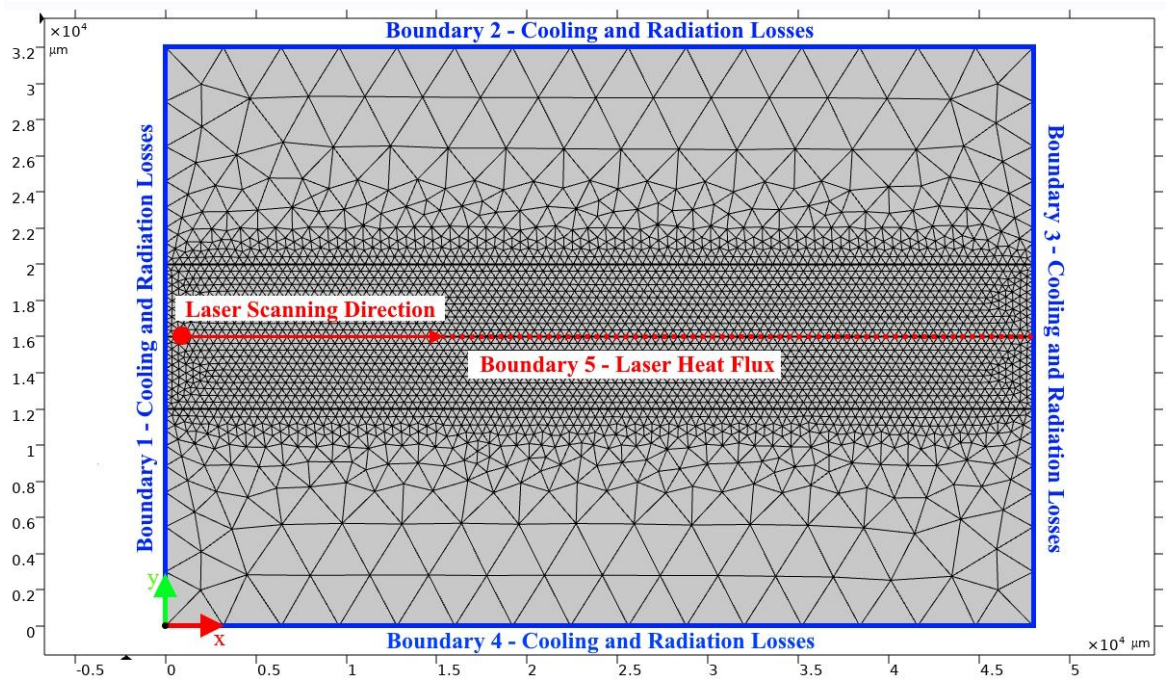


Figure 2. Boundary Conditions Defined in Comsol Multiphysics 6.2 For The Laser Processing Model on Ti6Al4V

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Surface Optical Microscope Characterization and Comparison Between The Experimental Results and The Simulation Results

Figure 3 provides a comparative analysis of the surface morphology of Ti6Al4V alloys that were processed using a fibre laser with different laser powers and scanning speeds. From Figure 3a, it can be noted that the surface morphology has been processed using a laser fluence of 10.19 J/cm². Correspondingly, for this set of powers and speeds, it can be noted that a relatively low amount of surface damage has occurred due to limited energy input, and as such, a relatively smooth surface morphology with well-defined laser paths has been obtained. Figures 3c and 3e highlight how a higher level of energy has impacted the surface morphology of other samples. Figure 3c represents samples that were processed using a laser fluence of 10.19 J/cm², while Figure 3e represents those that used a laser fluence of 20.37 J/cm². Notably, in both sets of samples, a higher amount of thermal energy has resulted in a relatively high degree of splatter formation of the material due to an increase in molten material along boundaries, as well as relatively higher amounts of surface damage. This has been as expected, since it has been seen that relatively higher amounts of laser energy are a major factor in increasing degrees of material ablation as well as relatively higher degrees of surface deformation. This point has been further reinforced by a relatively coarser surface morphology with relatively deep and prominent laser paths.

Figures 3-b, 3-d, and 3-f present simulation results. In analyzing simulation outcomes, it should be noted that all temperature contours are normalized with respect to a maximum value of 1923 K, which refers to the liquidus value of Ti6Al4V. Therefore, in all cited figures, those areas marked in yellow correspond to a temperature of 1923 K and above. To go beyond this value, which symbolizes a threshold beyond which a certain material melts, it can be safely assumed that it would cause texture transformations, melt, and vaporize. A calculation of a related experimental and simulation outcome picture suggests that there is a fairly good agreement between the average width of the yellow areas in simulation outcome temperature contours and experimentally laser-treated units. This calculation has been shown below.

The mean values of thickness for experimental laser processing traces and corresponding high-temperature areas from simulation results are shown below. From Figure 3a, for instance, it can be noted that the experimental trace has a mean thickness of about 54.57 μm, while Figure 3b shows that it has a value of around 66.96 μm for above 1923 K. Also, in Figure 3c, it can be seen that it has a value of about 84.80 μm from experiment, whereas Figure 3d shows that it has a value of approximately 101.33 μm for the area above 1923 K. Figure 3e has a value of about 91.20 μm from experiment, while Figure 3f shows that it has a value of around 110.45 μm for the high-temperature area. The discrepancies between values are measured in absolute percentage error, described in Equation 1.

$$Absolute\ Percentage\ Error\ (APE) = \left|\frac{Simulated\ Value - Actual\ Value}{Actual\ Value}\right| \text{x } 100\% \qquad (1)$$

Taking into consideration the error rate from differences in thickness, error rates of 22.7% for Figure 3-b, 19.4% for Figure 3-d, and 21.1% for Figure 3-f are obtained. Compared with error rates cited in other literature, it can be ascertained that error rates derived from analyses done using COMSOL Multiphysics are reasonable. This has also been found in other studies, with error rates similar to those shown in literature in this investigation [11-13].

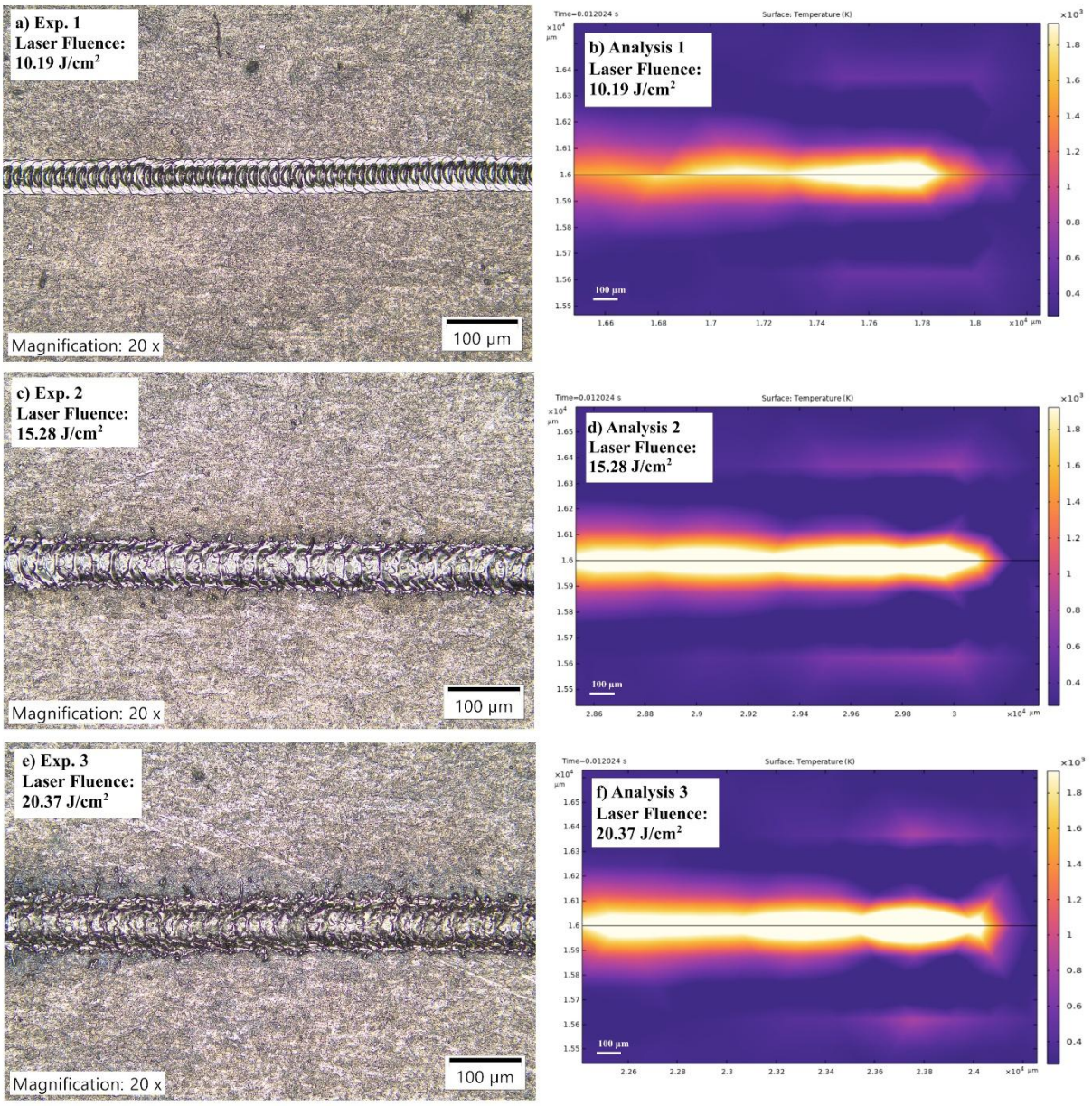


Figure 3. Laser Processed Ti6Al4V Surfaces and Their Simulation Results; (a) Exp. 1, (b) Analysis 1, (c) Exp. 2, (d) Analysis 2, (e) Exp. 3, (f) Analysis 3

The representation of the maximum temperatures obtained from the simulations is shown in Figure 4. As can be seen in Figure 4, the maximum temperature values obtained from the simulations of experiments 1, 2, and 3 are 3178 K, 4020 K, and 4513 K, respectively. The temperature values tend to increase as the power level increases, which is an expected situation. Furthermore, looking at Figures 3-a, 3-c, and 3-e, it can be seen that more irregular surface shapes are formed with increasing power levels, and therefore, temperature levels. The more

regular surface obtained after laser processing in Figure 3-a and the absence of spatter can be attributed to Ti6Al4V not having reached its boiling point, indicated by Tk in Table 2; while the spatter seen in Figures 3-c and 3-e indicates that it has reached its boiling point. These situations support the reasonableness of the temperature values obtained from the simulation.

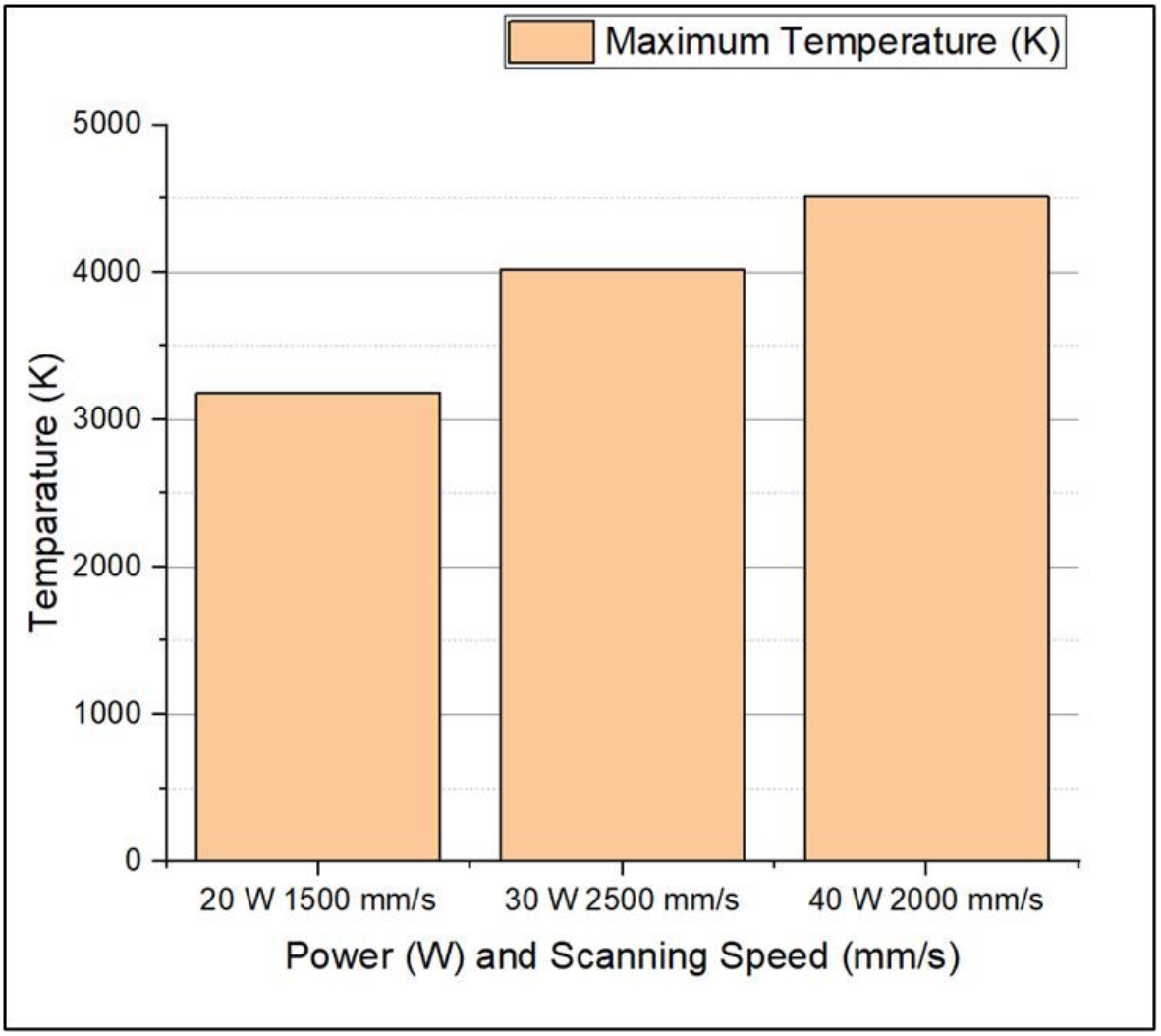


Figure 4. Maximum Temperature Values From Simulation Results

The program allows the creation of a phase transition contour using the “ht.alpha12” option in the results. In these contours, a value of 1 represents the portion that has completely transformed into the liquid phase, while a value of 0 represents the solid phase. The values in between, as mentioned earlier, represent the material phase transition range between the temperatures T_s and T_l. Therefore, the values are between 0 and 1. The shape related to this created contour is shown in Figure 5. The optical images in Figures 5-a, 5-c, and 5-e have been re-inserted to evaluate the phase transition graphs in Figures 5-b, 5-d, and 5-f. Looking at the relevant figures, it can be seen that the red regions representing the phase transition are also in agreement with the optical images in terms of width.

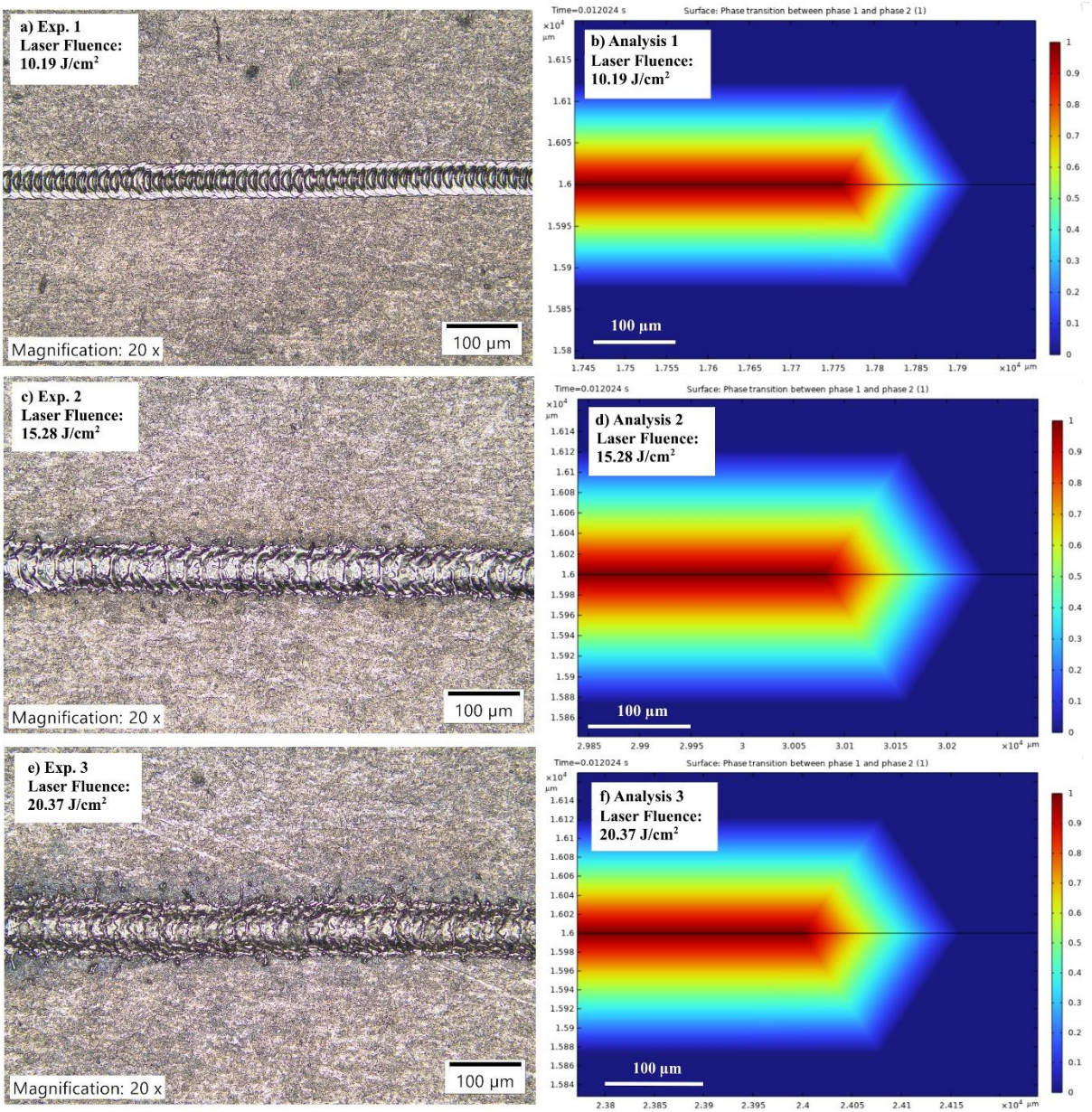


Figure 5. Laser Processed Ti6Al4V Surfaces and Phase Transition Simulation Results; (a) Exp. 1, (b) Analysis 1, (c) Exp. 2, (d) Analysis 2, (e) Exp. 3, (f) Analysis 3

4. CONCLUSIONS

The present study has demonstrated that a finite element model implemented in COMSOL Multiphysics can reasonably predict laser induced surface modifications on Ti6Al4V under fibre laser processing. Varying laser power and scan speed in a systematic manner over three fluence levels enabled reproduction of experimentally measured trends in surface morphology, including a transition from relatively smooth to roughened, splatter-coated surfaces with increasing fluence, characteristic for a progression from smooth to rough regimes. The corresponding calculated peak transient temperatures are seen to increase from 3178 K to 4513 K with increasing laser power, in line with a transition from vaporization to boiling, as

suggested by the presence of splatters in the optical microscopy images. Such agreement between the calculated temperature distribution, including modeling of heat transfer phenomena, and experimentally measured morphology of laser-treated surface topography provides confirmation of a comprehensive model of thermophysical properties in laser-processed Ti6Al4V alloys.

Quantitative comparison between the experimentally measured track widths and the numerically predicted high temperature regions above the liquidus temperature further supports the validity of the model. Across the three processing conditions, the differences between experimental and simulated widths corresponded to absolute percentage errors of approximately 19–23%, which lies within the range reported for similar laser processing simulations in the literature. In addition, phase fraction contours derived from the simulation showed good correspondence with the extent of the remelted regions in the optical images, confirming that the model can describe the heat affected and fully molten zones with acceptable accuracy. These findings indicate that the proposed COMSOL based modelling strategy can be used as a predictive tool for narrowing the process window prior to experimentation, thereby reducing the number of required trials, saving time and cost, and limiting sample and equipment utilisation in future optimisation studies on laser polishing and surface texturing of Ti6Al4V and related alloys.

REFERENCES

17. Ezugwu, E. O. Key Improvements In The Machining Of Difficult-To-Cut Aerospace Superalloys, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 45, 12-13, 2005.

18. Ulutan, D., Ozel, T. Machining Induced Surface Integrity in Titanium and Nickel Alloys: A Review, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 51, 3, 2011.

19. Hardy, M. C., Herbert, C. R. J., Kwong, J., Li, W., Axinte, D. A., Sharman, A. R. C., Encinas-Oropesa, A., Withers, P. J. Characterising the Integrity of Machined Surfaces in a Powder Nickel Alloy Used in Aircraft Engines, Procedia CIRP, 13, Supplement C, 2014.

20. Myers, J. R., Bomberger, H. B., Froes, F. H. Corrosion Behavior and Use of Titanium and Its Alloys, JOM, 36, 10, 1984.

21. M'Saoubi, R., Axinte, D., Soo, S. L., Nobel, C., Attia, H., Kappmeyer, G., Engin, S., Sim, W. M. High Performance Cutting of Advanced Aerospace Alloys and Composite Materials, CIRP Annals, 64, 2, 2015.

22. Pfleging, W., Kumari, R., Besser, H., Scharnweber, T., Majumdar, J. D. Laser Surface Textured Titanium Alloy (Ti–6Al–4V): Part 1–Surface Characterization, Applied Surface Science, 355, 104-111, 2015.

23. Arun, A., Lakshmanan, P., Parthiban, K., Kumanan, G., Arunkumar, L. Experimental Study on Laser Surface Texturing and Wear Characterization of Titanium Alloy, Materials Today: Proceedings, 62, 615-618, 2022.

24. Wu, S., Wang, Y., Jiang, X., Hu, S., Yao, C., Dong, B., Ma, C., Lu, L., Chen, J. Bioinspired Femtosecond Laser Surface Texturing for Enhancing Tribological Properties of Ti6Al4V Titanium Alloy, Tribology International, 110987, 2025.

25. Melo-Fonseca, F., Guimarães, B., Gasik, M., Silva, F. S., Miranda, G. Experimental Analysis and Predictive Modelling of Ti6Al4V Laser Surface Texturing for Biomedical Applications, Surfaces and Interfaces, 35, 102466, 2022.

26. Weeks, C. M., Myers, A. J., Malen, J. A., Singh, S. Validation of Openfoam Modeling of Additive Manufacturing Melt Pool Dynamics Against Geometric and Thermal Experiments, Journal of Manufacturing Processes, 152, 237-249, 2025.

27. Li, K., Zhao, Z., Zhou, H., Zhou, H., Jin, J. Numerical Analyses of Molten Pool Evolution in Laser Polishing Ti6Al4V, Journal of Manufacturing Processes, 58, 574-584, 2020.

28. Wang, C., Zhao, Z., Zhou, H., Zeng, J., Zhou, Z. Numerical Simulation and Validation of Laser Polishing of Alumina Ceramic Surface, Micromachines, 14, 11, 2023.

29. Li, K., Zhou, H., Zhao, Z., Zhou, H., Yin, J., Jin, J. A Study on Transient Molten Pool Dynamics in Laser Polishing of Ti6Al4V Using Numerical Simulation, Journal of Manufacturing Processes, 65, 478-490, 2021.

30. Ma, C., Vadali, M., Duffie, N. A., Pfefferkorn, F. E., Li, X. Melt Pool Flow and Surface Evolution During Pulsed Laser Micro Polishing of Ti6Al4V, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 135, 6, 2013.

31. Li, J., Jin, Y., Chang, Y., Zuo, D. Finite Element Simulation and Experimental Study of Single-Laser Track in Laser Polishing of Ti6Al4V, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 121, 7, 2022.

32. Li, K., Zhao, Z., Zhou, H., Zhou, H., Yin, J., Zhang, W., Zhou, G. Numerical Simulation of Effect of Different Initial Morphologies on Melt Hydrodynamics in Laser Polishing of Ti6Al4V, Micromachines, 12, 5, 2021.

33. Leyens, C., Peters, M., Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications, Wiley-VCH, 2003.

Fe_3O_4 NANOTOZLARININ YAPISAL ve MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

STRUCTURAL and MORPHOLOGICAL PROPERTIES of Fe_3O_4 NANOPOWDERS

Öğr. Gör. Tarık BAYDAR[1*]
[1]Munzur University, Tunceli Vocational High School, Depertmant of Metal and Machinery Technologies, Tunceli, Turkey
tarikbaydar@munzur.edu.tr - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4243-4304

Doç. Dr. Naim ASLAN[2]
[1]Munzur University, Tunceli Vocational High School, Depertmant of Metal and Machinery Technologies, Tunceli, Turkey
naimaslan@munzur.edu.tr - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1159-1673

Prof. Dr. Hüseyin ERTAP[3]
[2]Kafkas University, Faculty of Science and Letters, Department of Physics, Kars, Turkey
huseyinertap@kafkas.edu.tr - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3896-6188

Prof. Dr. Seydi DOĞAN[4]
[3]Balıkesir University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Balıkesir, Turkey
dogans@balikesir.edu.tr - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9875-4990

ÖZET

Birçok teknolojik uygulama için önemli bir malzeme olan Demir Oksit (Fe_3O_4) nanotozları hidrotermal yöntemle sentezlendi. Fe_3O_4 nanotozunun yapısal ve morfolojik özellikleri XRD ve SEM ölçümleri kullanılarak incelendi. XRD spektrumunun analizinden, Fe_3O_4 nanotozunun a = b = c = 8.3995 Å kafes parametrelerine sahip kübik yapıdaki manyetite fazda olduğunu ve 227:Fd-3m uzay grubuna ait olduğunu ortaya koymuştur. XRD sonuçları Fe_3O_4 nanotozunun karakteristik kırınım piklerine sahip olduğunu göstermiştir. Fe_3O_4 nanotozunun en güçlü kırınım pikleri sırasıyla $2\theta = 30.04^o$, 35.40^o and 62.48^o civarında gözlendi. Fe_3O_4 nanotozunun ortalama kristalit boyutu (D) 54.59 nm olarak hesaplandı. Fe_3O_4 nanotozunun yüzey görüntüleri farklı büyütme oranlarında SEM ölçümleriyle elde edilmiştir. SEM ölçümleriyle elde edilen görüntüler, Fe_3O_4 nanotozunun dikdörtgen prizma biçimli nanoyapılardan oluştuğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fe_3O_4 nanotozları, Parçacık boyutu, XRD, SEM.

ABSTRACT

Iron Oxide (Fe_3O_4) nanopowders, being an important material for many technological applications, were synthesis by hydrothermal method. Structural and morphological properties of Fe_3O_4 nanopowder were studied by using XRD and SEM measurements. Analysis of the XRD spectra revealed that the Fe_3O_4 nanopowder has a cubic structure in a magnetite phase

with lattice parameters a = b = c = 8.3995 Å and belonging to the 227:Fd-3m space group. XRD result showed that Fe_3O_4 nanopowder exhibited characteristic diffraction peaks. The strongest diffraction peaks were observed around $2\theta = 30.04^o$, 35.40^o and 62.48^o for Fe_3O_4 nanopowder. The average crystallite sizes (D) of Fe_3O_4 nanopowder was calculated as 54.59 nm. The surface images of Fe_3O_4 nanopowder were obtained by SEM measurements at different magnifications. Images obtained from SEM measurements showed that Fe_3O_4 nanopowder consisted of prism-shaped nanostructures.

Key Words: Fe_3O_4 nanopowders, Particle size, XRD and SEM.

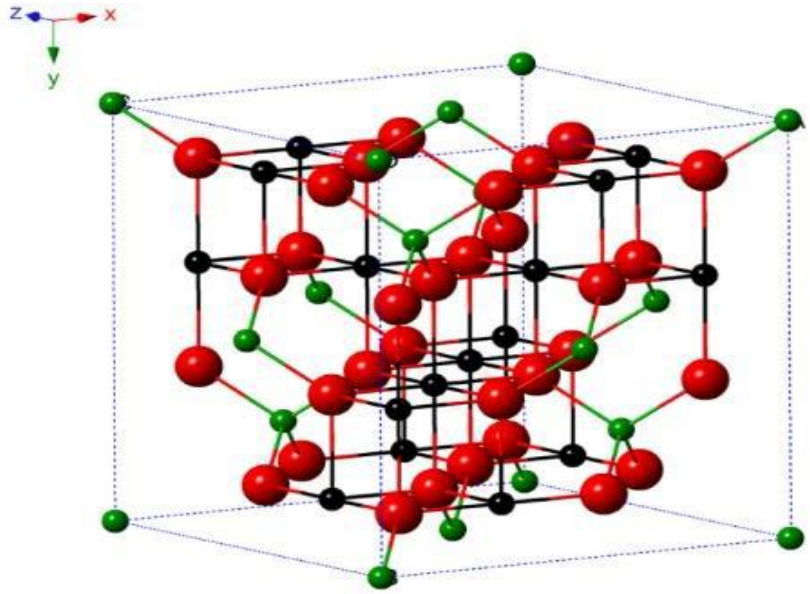
1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde kullanılan elektronik cihazların en önemli cihaz bileşenlerinden birisi, kontrol edilebilir elektriksel ve optik özellikleri sayesinde yarıiletken malzemelerden yapılmış olan elektronik cihaz bileşenleridir [1]. Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlikleri geçici veya kalıcı olarak geniş bir aralıkta kontrol edilebilir, farklı maddelerle katkılandırmak suretiyle yarıiletkenlerin elektrik özellikleri önemli ölçüde değiştirilebilir ve hatta metaller kadar iletken hale getirilebilirler [2]. Bu tip yarıiletkenlerin sıcaklıkları mutlak sıfır sıcaklığa (0 K) yaklaştığında, özdirençlerinin büyük bir artış göstererek çok iyi bir yalıtkan haline gelebildikleri bilinmektedir [3]. Serbest elektronların bulunduğu iletim bandı ile değerlik bandı arasındaki yasak enerji aralığının farklı oranlarda yapılan katkılama ile değiştirilerek fiziksel özelliklerine müdahale imkânı vermesi yarıiletkenlerin ön plana çıkan en önemli özelliklerinden olarak bilinir [4]. Yarıiletkenlerin böyle bir yapıya sahip olmaları onların lazer, diyot, transistör, termistör, modülatör, güneş pilleri, gaz sensörleri gibi birçok teknolojik üründe vazgeçilmez malzeme haline getirmiştir [5].

ZnO, SnO_2, CdS, CuO gibi geçiş metal oksitlerinden olan Fe_3O_4, dikkat çekici fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde uzun yıllardır bilim insanlarının yoğun ilgisini çekmektedir [6]. Bu malzemelerden elde edilen materyaller nanotoz/nanoparçacık mertebesinde elde edilebilmektedir ve nanoteknoloji uygulamalarında da kullanılmaktadır.

Nanoteknoloji, malzeme bilimi alanında yeni nesil fonksiyonel malzemelerin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle metal oksit tabanlı yarıiletken ve manyetik nanoyapılar, yüksek yüzey alanı, düşük boyut etkileri ve çok yönlü sentez yöntemleriyle geniş bir uygulama alanı sunmaktadır [7]. Nanoteknoloji uygulamalarında önemli bir yeri olan, Fe_3O_4 (manyetit) nanoparçacıkları, süperparamanyetik özellikleri, biyouyumluluğu ve düşük toksisitesi sayesinde özellikle biyomedikal, çevre ve enerji alanlarında yoğun olarak araştırılmaktadır [8, 9].

Fe_3O_4 nanoparçacıkları birlikte çöktürme, solvotermal, mikrodalga ve hidrotermal gibi yöntemlerle sentezlenebilmektedir. Bu yöntemlerle elde edilen malzemelerin ve nanoparçacıkların morfolojisi, kristal yapısı ve manyetik özellikleri üzerinde kullanılan elde etme yöntemlerinin farklı etkilerinin olduğu görülmektedir [10]. Özellikle hidrotermal yöntemin en önemli avantajları olarak, düşük sıcaklık ve basınç altında nanoparçacığın veya kristalin büyümesi, homojen tanecik dağılımı sağlaması ve kontrollü olarak morfoloji yapısının sağlaması parametreleri öne çıkmaktadır [11, 12].



Görsel 1: Manyetitenin (Fe_3O_4) kristal yapısının şematik gösterimi [13].

Hidrotermal sentez yönteminde kullanılan pH, sıcaklık, reaksiyon süresi gibi parametreler elde edilen nanoparçacıkların boyutunu, kristal saflığını ve yüzey özelliklerini doğrudan etkilediği görülmektedir. Örneğin, nanoparçacık elde edilen deney ortamının pH değerinin arttırılmasıyla daha küçük boyutlu ve iyi kristallenmiş Fe_3O_4 naoparçacıklarının elde edildiği bilinmektedir [9]. Ayrıca, elde edilen nanoparçacıkların yapısal, optik, morfolojik ve manyetik özelliklerine pH, sıcaklık, reaksiyon süresi gibi parametrelerin değiştirilmesinin etkisi X-Işını Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), UV–Vis Spektrofotometresi, Titreşimli Numune Manyetometresi (VSM) ve X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) gibi tekniklerle detaylı olarak yapılabilmektedir [14, 15].

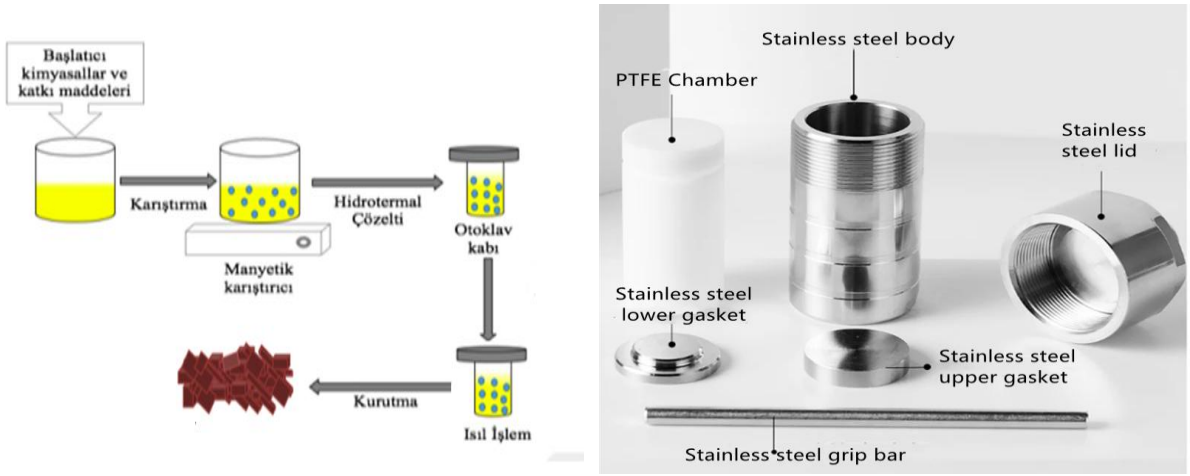
Fe_3O_4 nanoparçacıklarının yapısına katkı elementleri eklenerek yapısal, optik, manyetik gibi özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Özellikle bu katkılama nadir toprak elementlerinden olan Neodimyum (Nd) elementi ile yapıldığında, Fe_3O_4 nanoparçacığının kristal yapısına Nd başarılı bir şekilde entegre edilerek yapısal bozukluklar oluşturabilmekte ve bunun sonucunda nanoparçacığın optik ve manyetik özelliklerde önemli değişiklikler meydana getirilebilmektedir [16]. Ayrıca, Nd katkısının Fe–O bağ yapısında önemli değişikliklere yol açtığı ve manyetik saturasyon değerlerini etkilediği XPS ve VSM tekniklerinden elde edilen sonuçların analizleriyle gösterilmiştir [17, 18].

Fe_3O_4 ve Nd katkılı Fe_3O_4 nanoparçacıkları üzerine yapılmış çok fazla çalışma bulunmamakla birlikte yapılan bazı araştırmalardan elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Castellanos-Rubio ve arkadaşları tarafından Fe_3O_4 ve Nd katkılı Fe_3O_4 nanoparçacıklarının XRD desenleri incelenmiş ve katkısız Fe_3O_4 nanoparçacığında saf Fe_3O_4 fazı gözlenmiş ancak Nd katkılı Fe_3O_4 nanoparçacığında ise bazı piklerin konumlarının değiştiği ve kristal yapında bazı bozulmaların meydana geldiği belirtilmiştir. Meydana gelen bu değişimin ise katkılanan Nd nadir toprak elementinin Fe_3O_4 nanoparçacığının örgü kafesine yerleşmesi sonucunda oluştuğunu belirtmişlerdir [10]. Song ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Fe_3O_4 nanoparçacığına

Nd katkısının parçacık boyutunu düşürdüğü ve katkı miktarının arttırılmasıyla parçacık boyutunun katkısız ve daha az katkılı Fe_3O_4 nanoparçacığına oranla daha fazla küçüldüğü, manyetik özelliklerin düzenlendiği ve yüzey alanlarının genişlediği saptanmıştır [10, 16]. Bu özelliklerinden dolayı Nd katkılı Fe_3O_4 nanoparçacıklarının özellikle sensör teknolojileri, katalizör sistemleri ve elektromanyetik koruma gibi ileri teknoloji alanlarında potansiyel bir aday haline getirdiği belirtilmiştir [8, 15]. VSM analizi ile manyetik özelliklerin incelenen Fe_3O_4 nanoparçacıklarına Nd katkısının saturasyon manyetizasyonunda belirgin bir artışa yol açtığı ve aynı zamanda Nd katkısının koersiviteyi azaltarak daha süperparamanyetik özellikler sergileyen nanoyapılar oluşmasına katkı sağladığı belirlenmiştir [18]. Bu çalışmada, hidrotermal yöntemle sentezlenen Fe_3O_4 ve Nd katkılı Fe_3O_4 (Nd-Fe_3O_4) nanotozlarının yapısal, morfolojik ve optik özellikleri araştırıldı.

2. DENEYSEL YÖNTEMLER

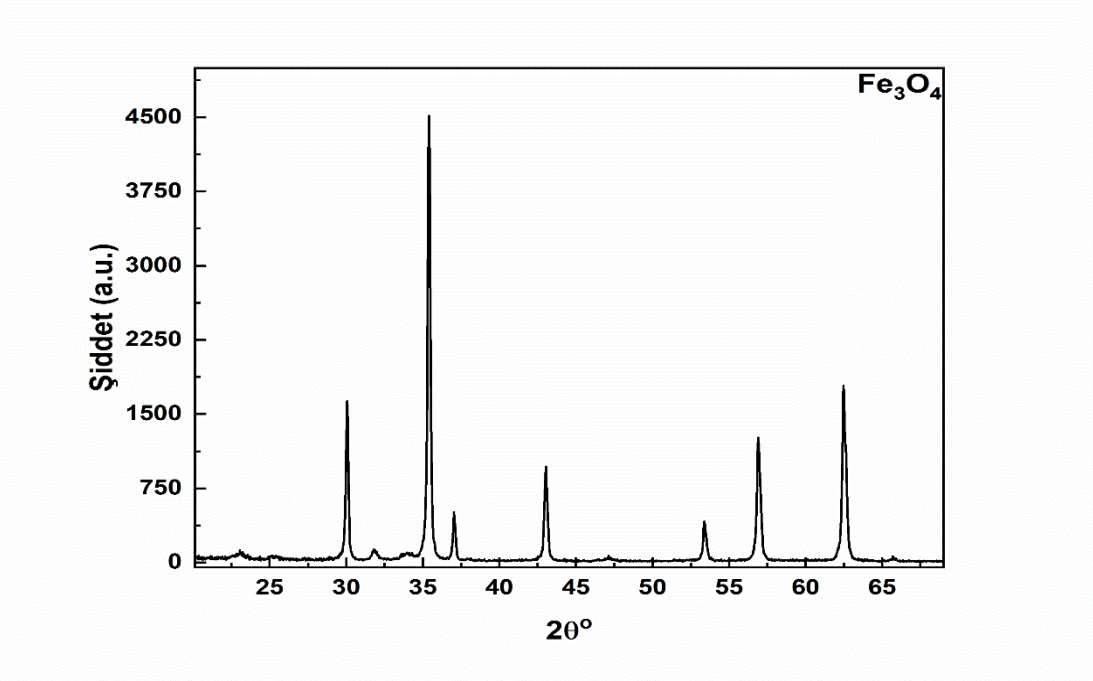
Fe_3O_4 nanotozu için, içerisinde 60 mL saf su bulunan behere 0.05 M Fe kaynağı ($FeSO_4.7H_2O$) eklenerek 5 dk boyunca manyetik karıştırıcı da bekletildi. 20 mL saf su bulunan başka bir behere NaOH konularak çözünmesi sağlandı ve elde edilen NaOH çözeltisi, Fe kaynağı bulunan behere aktarıldı. Hazırlanan NaOH çözeltisi Fe_3O_4 nanotozunun pH değerini yaklaşık olarak 10-11 yapmak için kullanıldı. Fe_3O_4 nanotozuna NaOH eklenerek elde edilen son çözeltinin homojen hale getirilmesi için karışım oda sıcaklığında 30 dakika ultrasonik titreştiricide karıştırıldı ve daha sonra hidrotermal üniteye transfer edildi. Hidrotermal ünite 180 °C sıcaklığa kadar ısıtıldı ve çözelti bu koşullar altında 16 saat bekletildi. Daha sonra sistem 1 saat içerisinde oda sıcaklığına gelecek şekilde soğutuldu. Bu işlemler sonucunda oluşan çökelti sırasıyla saf su ve etanol ile üçer kez santrifüjdendi. Son olarak, çökelti etüvde 105 °C sıcaklığında 5 saat boyunca kurutuldu. Nd-Fe_3O_4 nanotozu ise Fe_3O_4 nanotozuna neodyum klorür hekzahidrat ($NdCl.6H_2O$) tuzunun eklenmesi ile elde edildi. Sentezlenen Fe_3O_4 ve Nd-Fe_3O_4 bileşiklerini nanotoz boyutuna indirgemek için Polietilen Glikol 400 (PEG 400) kullanıldı. Fe_3O_4 ve Nd-Fe_3O_4 nanotozlarının yapısal özellikleri X-Işınları Kırınımı (XRD) (Rigaku MiniFlex 600) yöntemiyle, morfolojik özellikleri farklı büyütme oranları yardımıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Hitachi SU3500) yöntemiyle ve optik özellikleri ise UV-Vis spektrometresi ile (Cary 60 UV-Vis) ile araştırıldı. Fe_3O_4 nanoparçacıklarının üretim basamakları ve hidrotermal reaktörün şematik olarak gösterimi Görsel 2'de verilmektedir.



Görsel 2: Fe_3O_4 nanotozlarının üretim basamakları ve hidrotermal reaktörü şematik gösterimi [19].

3. DENEYSEL BULGULAR

Fe_3O_4 nanotozunun XRD analizleri sonucunda elde edilen spektrum Görsel 3'te verilmektedir.



Görsel 3: Fe_3O_4 nanotozunun XRD spektrumu.

XRD spektrumunun analizinden elde edilen sonuçlar Fe_3O_4 nanotozunun a = b = c = 8.399 Å olan örgü parametrelerine sahip kübik yapıya sahip manyetite fazda olduğunu ve uzay grubunun 227:Fd-3m olduğunu göstermiştir. XRD sonuçları Fe_3O_4 nanotozunun karakteristik kırınım piklerine sahip olduğunu göstermiştir. XRD spektrumundan elde edilen sonuçların daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir [9, 16]. Fe_3O_4 nanotozunun XRD spektrumunun analizlerinden elde edilen bazı parametreler Çizelge 1'de verilmektedir.

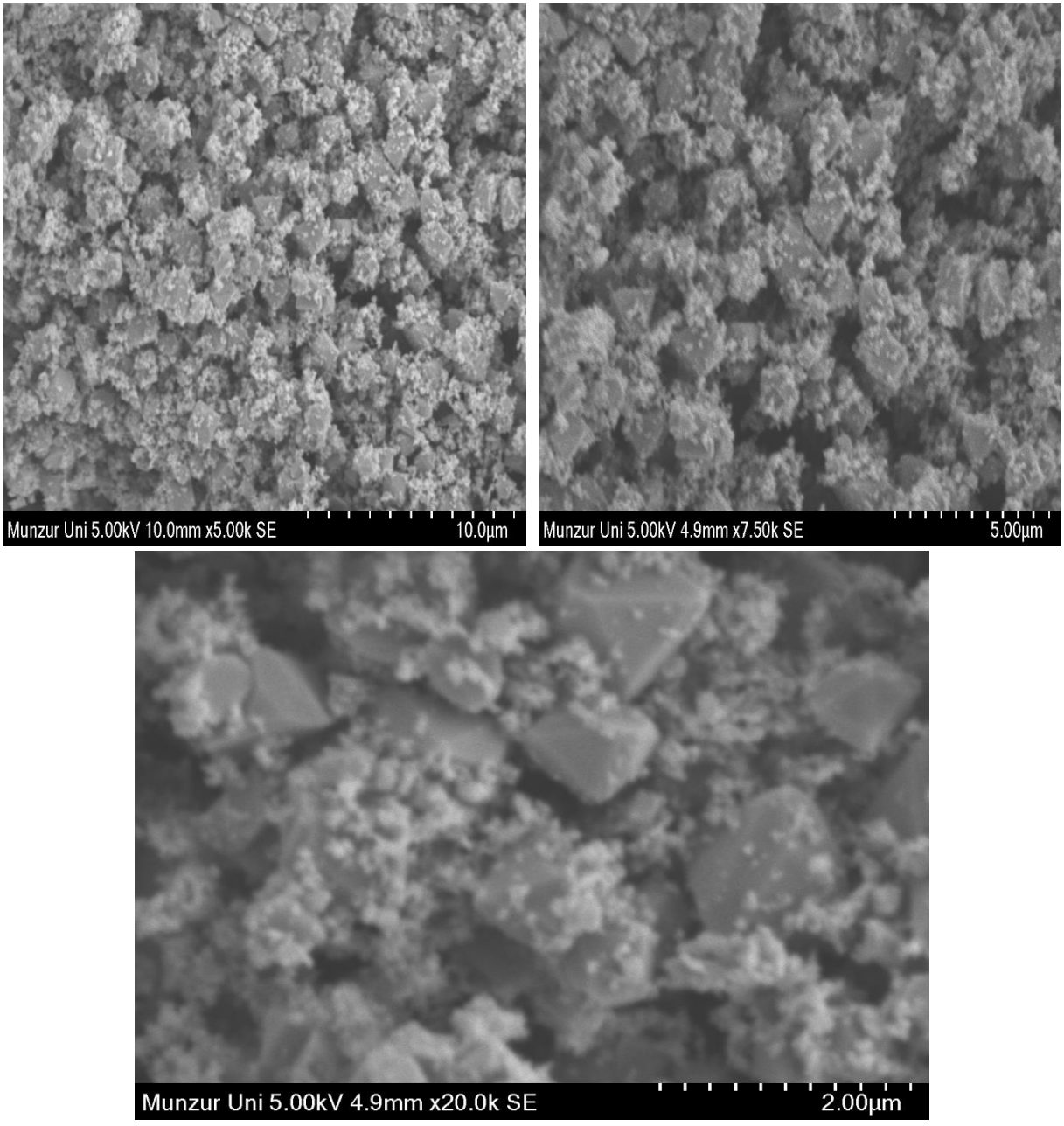
Çizelge 1: Fe_3O_4 nanotozunun XRD spektrumlarından elde edilen bazı parametreleri.

Pik	Numune	2θ	d (Å)	Şiddet(a.u.)	FWHM (β)	Parçacık Boyutu (nm)	Yapı/Faz
(2 2 0)	Fe_3O_4	30.04	2.97	1633.33	0.146	58.771	Kübik/ Manyetite
(3 1 1)	Fe_3O_4	35.40	2.53	4515.12	0.167	52.141	Kübik/ Manyetite
(4 4 0)	Fe_3O_4	62.48	1.48	1786.66	0.183	52.880	Kübik/ Manyetite

Fe_3O_4 nanotozunun XRD ölçümü sonucunda elde edilen datalar vasıtasıyla çizilen grafiklerden ve veri tabanından çekilen değerler eşliğinde, grafiklerde görülen bütün piklerin Fe_3O_4 bileşiğine ait olduğu görülmektedir. Fe_3O_4 nanotozunun parçacık boyutu Scherrer denklemi kullanılarak XRD verilerinden hesaplandı [20].

$$D = \frac{K\lambda}{(\beta cos\theta)}$$

Bu denklemde λ; Cu K_α ışınımının dalga (0.15418 nm), *K;* 0.94 olarak alınan Scherrer sabiti, θ; parçacık boyutu hesaplanırken dikkate alınan kırınım pikinin tepe noktasının Bragg açısı ve β ise parçacık boyutu hesaplanırken dikkate alınan kırınım pikinin tepe noktasının FWHM değeridir. Scherrer formülünden Fe_3O_4 nanotozunun ortalama parçacık boyutu 54.59 nm olarak hesaplandı. Fe_3O_4 nanotozunun farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri Görsel 4'te verilmektedir.



Görsel 4: Fe_3O_4 nanotozunun farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri.

Fe_3O_4 nanotozunun morfolojik özellikleri farklı büyütme oranlarına sahip SEM yüzey görüntüleri alınarak incelendi. Fe_3O_4 nanotozunun farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri incelendiğinde nanotozların dikdörtgen prizma biçimli nanoyapılardan meydana

geldiği görülmektedir. Ayrıca, Fe_3O_4 nanotozunun SEM görüntüleri homojen bir şekilde dağılım olduğunu göstermiştir ve bu durum oluşan nanoyapının rahatça gözlenmesini sağlamıştır. Bunlara ek olarak SEM görüntülerinde Fe_3O_4 nanotozlarının belirgin biçimde aglomere (topaklanma yani daha büyük yeni parçacık boyutlarına sahip ürünler oluşturmak için parçacıkların birleştirmesi işlemi) olduğu görülmektedir. Bu durum, manyetik nanoparçacıklara özgü olan yüksek yüzey enerjisinden ve manyetik dipol–dipol etkileşimlerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Hidrotermal sentez koşulları (sıcaklık, süre ve pH), kristallenme derecesini artırırken aynı zamanda partiküller arası manyetik çekimi de güçlendirmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Fe_3O_4 nanotozunun yapısal ve morfolojik özellikleri sırasıyla XRD ve SEM analizleri ile araştırıldı. XRD spektrumunun analizinden, Fe_3O_4 nanotozunun a = b = c = 8.3995 Å kafes parametrelerine sahip kübik yapıdaki manyetite fazda olduğunu ve 227:Fd-3m uzay grubuna ait olduğunu ortaya koymuştur. Fe_3O_4 nanotozunun ortalama kristalit boyutu (D) 54.59 nm olarak hesaplandı. Fe_3O_4 nanotozunun yüzey görüntüleri farklı büyütme oranlarında SEM ölçümleriyle elde edilmiştir. SEM ölçümleriyle elde edilen görüntüler, Fe_3O_4 nanotozunun dikdörtgen prizma biçimli nanoyapılardan oluştuğunu göstermektedir. Bunlara ek olarak, hidrotermal yöntemle sentezlenen Fe_3O_4 nanotozları; çevresel arıtma, biyomedikal, katalitik, enerji ve manyetik/elektronik uygulamalar başta olmak üzere çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada sonucunda elde edilen yapısal ve morfolojik bulgular, sentezlenen Fe_3O_4 nanotozlarının literatürde raporlanmış olan yüksek performanslı uygulamalarla uyumlu olduğunu ve ileri mühendislik uygulamaları için güçlü bir aday malzeme olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

[1] Sze, S. M. ve Ng, K. K., Physics of Semiconductor Devices. John Wiley & Sons, 2006.
[2] Pierret, R. F., Semiconductor Device Fundamentals. Addison-Wesley, 2003.
[3] Streetman, B. G. and Banerjee, S., Solid State Electronic Devices. Pearson Education, 2005.
[4] Kittel, C., Introduction to Solid State Physics. John Wiley & Sons, 2005.
[5] Türk Standartları Enstitüsü (TSE). "Yarıiletken Malzemeler ve Kullanım Alanları"
[6] Devi, L. G. ve ark., Study on Metal Oxides: Properties and Applications, 2020.
[7] Nguyen, M. D. ve ark., Functionalized magnetic Fe_3O_4 nanoparticles: synthesis and applications. Materials Science Advances, 6(5), 235–248, 2021.
[8] Costa, B. ve ark., Influence of synthesis pH on Fe_3O_4 nanoparticles for hyperthermia. Pharmaceutics, 17(7), 844, 2025.
[9] Castellanos-Rubio, I. ve ark., A milestone in Fe_3O_4 synthesis: bulklike magnetic properties. Scientific Reports, 11, 12349, 2021
[10] Gupta, S., Comparison of synthesis methods for Fe_3O_4 nanoparticles. Journal of Synthetic Chemistry, 9(2), 122–130, 2024.
[11] Aslan, N., Synthesis and characterization of ZnO@Fe_3O_4 nanocomposites using hydrothermal method. Journal of Materials Science Research, 11(4), 45–53, 2022.
[12] Rafie, S. F. ve ark., Effect of reaction parameters on hydrothermally synthesized Fe_3O_4. Ceramics International, 49(2), 984–993, 2023.

[13] Ganapathe, L. ve ark., Magnetite (Fe3O4) Nanoparticles in Biomedical Application: FromSynthesis to Surface Functionalisation, Magnetochemistry, 6, 68, 2020.

[14] Soltanpour, P. ve ark., Comparative study on ZnS/Fe_3O_4 nanocomposites. Scientific Reports, 14, 72026, 2024.

[15] Amini, S. M. ve ark., Hydrothermal synthesis of magnetic nanoparticles for medical applications. Scientific Reports, 13(1), 2143, 2023.

[16] Song, X. ve ark., Optimization of magnetic properties in Nd-doped Fe_3O_4. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 591, 171282, 2024.

[17] Geetha, V. ve Induja, S., Nd-Doped Fe_3O_4 nanoparticles: synthesis and catalytic properties. Asian Journal of Chemistry, 33(3), 583–590, 2021.

[18] Song, X. ve ark., Study on controllable preparation of Nd^{3+} doped Fe_3O_4. Molecules, 28(7), 3175, 2023.

[19] URL-1, 2024. https://tr.aliexpress.com/i/1005005619872215.html. 15.11.2024.

[20] Ertap, H. ve Karabulut, M., Structural and electrical properties of boron doped InSe single crystals, Materials Research Express, **6**(3),035901, 2019.

KOMPOZİT/METAL HİBRİT SİSTEMLERDE YÜZEY TEMİZLEME İŞLEMİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

EFFECT OF SURFACE PURGING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE/METAL HYBRID SYSTEMS

Y.L. Öğrenci, Mustafa ÖZDEMİR

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü

mustafa.ozdemir8991@gmail.com- 0009-0005-1005-6088

Doç. Dr., S. Bahar BAŞTÜRK

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü

bahar.basturk@cbu.edu.tr- 0000-0002-4027-1935

ÖZET

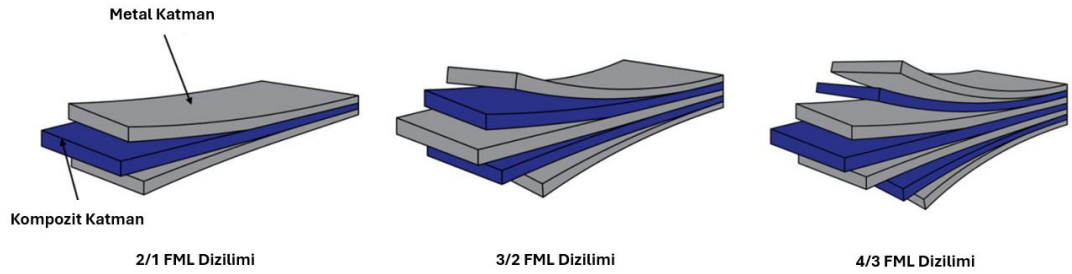
Kompozit ve metal komponentlerden oluşan fiber metal laminatlar (FML'ler), ince metal alaşım tabakalarına (alüminyum, çelik, magnezyum ve titanyum gibi) fiber takviyeli polimerik malzemelerin entegre edildiği hibrit kompozit yapılardır. Metal ve kompozit malzemenin birleşiminden dolayı, FML'ler metal ve fiber takviyeli kompozitlerin avantajlarından yararlanır. Bu avantajlar, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, mükemmel korozyon direnci, mükemmel nem direnci, yüksek yorulma direnci, yüksek enerji absorbe etme kapasitesi ve yüksek darbe direnci olarak sıralanabilir. İlaveten, metal bileşenlerin süneklik, tokluk ve yüksek eğme mukavemeti/rijitliği gibi özellikleri de FML yapılara pozitif katkı sağlamaktadır. Bahsi geçen hibrit malzemelerin mekanik performanslarını belirleyen parametrelerden biri metal levha yüzeyine yapılan temizleme işlemidir. Bu çalışma içeriğinde FML örnekler, 1 mm kalınlığında alüminyum metal levhaların arasına 0/90 oryantasyonlu cam fiber ve epoksi matristen oluşan pre-preg katmanların serimiyle üretilmiştir. Aluminyum plakalara ise Cleansol™ yağ alma kimyasalı uygulanmış ve sonrasında kompozit/metal entegrasyonu sıcak presleme tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Tekil pre-preg kompozit ve FML hibrit sistemlere ilgili ASTM standartlarına uygun çekme ve eğme testleri uygulanarak mukavemet ve rijitlik değerleri saptanmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre, kompozit yapı 448,18±38,21 MPa çekme dayanımı ve 21,26±0,50 GPa elastisite modülü sergilerken aynı parametreler FML sistem için sırasıyla 265,64±0,18 MPa ve 50,32±3,28 GPa olarak hesaplanmıştır. Üç nokta eğme testi için de benzer bir trend gözlenmiş olup tekil pre-preg numuneler için 585,933±19,97 MPa eğme mukavemeti ve 23,877±1,77 GPa değerinde eğme modülü bulunmuştur. FML örnekler için ise aynı parametreler sırasıyla 260,288±8,43 MPa ve 53,707±10,12 GPa olarak belirlenmiştir. Test sonuçları literatürle uyumlu olup metal plaka varlığı özellikle rijitlik değerlerini tekil kompozite göre %100'den fazla artış sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Fiber metal laminat (FML), sıcak presleme, mekanik özellikler

1. FİBER METAL LAMİNATLAR

Havacılık ve uzay endüstrisinde hem ağırlığı azaltmak hem de hasar toleransını iyileştirme ihtiyacı araştırmacıların temel hedeflerinden biri haline gelmiştir. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen fiber metal lamina kompozitler, kalınlığı 1mm veya daha ince metal levhalar ile fiber takviyeli polimer matrisli kompozit katmanların istiflenmesiyle elde edilen malzemelerdir. Fiber metal lamina kompozitlerin bileşenleri alüminyum, magnezyum veya titanyum gibi metaller ve aramid, cam veya karbon fiberlerden oluşan takviye katmanlarıdır. Bu hibrit malzemenin ana hedefi metallerin izotropik sünekliği ve darbe dayanımı gibi özelliklerini, kompozitlerin yüksek mukavemeti ve yorulma direnci gibi avantajlarıyla tek bir yapıda birleştirmektir. Bu sebeple FML sistemler geleneksel monolitik metal alaşımlarına veya sadece fiber takviyeli kompozitlere göre çok daha üstün özellikler sunar (yüksek yorulma direnci, mükemmel korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve yüksek kırılma tokluğu gibi) [1,2].

Laminatların isimlendirilmesi metal katman sayısı ve kompozit katman sayısına göre yapılmaktadır. Örneğin 2/1 konfigürasyonu FML'nin 2 katman metal ve 1 katman kompozitten oluştuğunu gösterir. Literatürde 3/2 ve 4/3 gibi farklı dizilimlerde kullanılmaktadır. Bu yapısal esneklik, malzemenin tasarım gereksinimlerine göre optimize edilmesine olanak tanır [1,2].

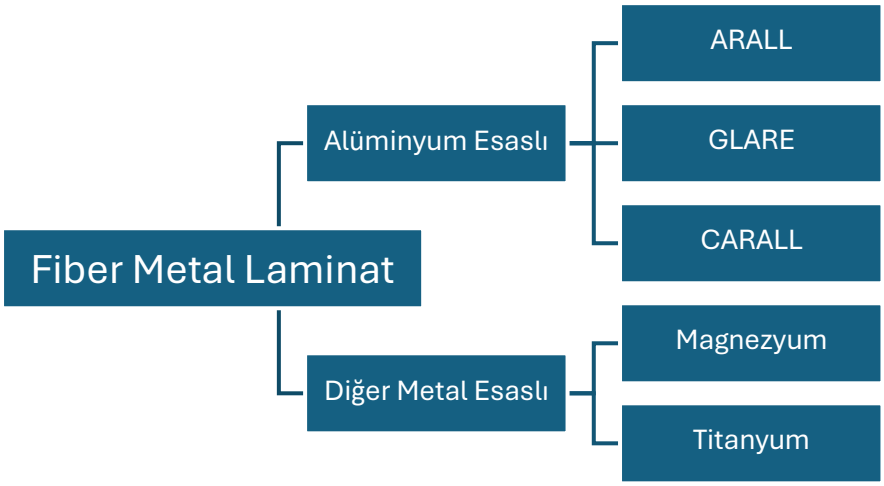


Görsel 1. Farklı tabaka dizilimlerine (Lay-up) sahip FML konfigürasyonlarının şematik gösterimi (2/1, 3/2 ve 4/3 dizilimleri) [2].

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından havacılık endüstrisinde metal yapıştırma teknolojilerinin gelişmesi FML teknolojisinin de temelini atmıştır. Özellikle Fokker F-27 Friendship uçağında perçin kullanımını yerine metal tabakaların yapıştırılmasıyla oluşturulan laminat yapılar kullanılmıştır. Bu yapı sayesinde monolitik malzemelere göre yorulma çatlağı direncinde ciddi bir iyileşme sağlanmıştır. Yapılan testlerde, yapıda bir çatlak başlasa bile hasar görmemiş diğer katmanların çatlağı köprüleyerek büyüme hızını frenlediğini kanıtlanmıştır [1,3].

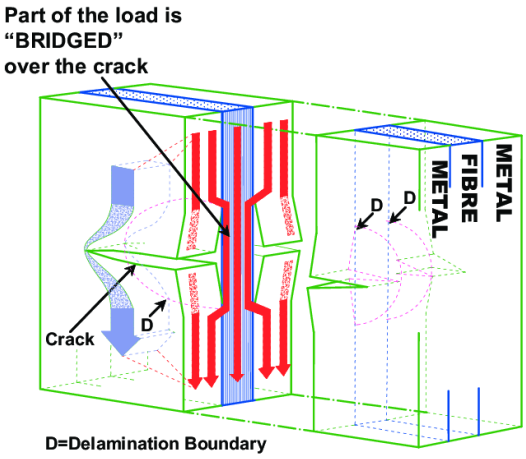
Fiber metal lamina (FML) kavramı 1970'lerin sonunda Delft Teknoloji Üniversitesi'nde yapıştırıcı tabakası içerisine yüksek mukavemetli fiberlerin eklenmesi fikriyle ortaya çıkmıştır. İlk ticari FML 1980'lerin başında geliştirilen ve ARALL (Aramid Reinforced Aluminum Laminate) olarak adlandırılan malzemedir. Aramid fiberlerin kullanıldığı bu ilk nesil FML özellikle kanat alt yüzeyleri gibi yüksek çekme gerilmelerine maruz kalan bölgeler için optimize edilmiştir. Ancak aramid fiberlerin basma yüklemeleri altındaki zayıf performansı ve

döngüsel yüklemeler altında fiberlerin kırılma eğilimi göstermesi bu malzemenin kullanım alanını sınırlamıştır. ARALL'ın bu sınırlamalarının üstesinden gelmek amacıyla, 1980'lerin sonunda araştırmacılar yüksek mukavemetli cam fiberleri kullanmaya yönelmiştir. Bu çalışmalar sonucunda GLARE (Glass Reinforced Aluminum Laminate) geliştirilmiştir. GLARE alüminyum tabakalar ile cam fiber/epoksi prepreglerin kombinasyonundan oluşmaktadır. Glare, Airbus A380 gibi modern uçakların gövde kaplamalarında kullanılan en başarılı FML sınıfıdır. Arall ve Glare'in yanı sıra uzay uygulamaları için yüksek rijitlik gerektiren durumlarda karbon fiber takviyeli CARALL (Carbon Reinforced Aluminum Laminate) varyasyonları da literatürde yerini almıştır [1, 2, 3].



Görsel 0. Fiber metal laminaların sınıflandırılması

Fiber metal laminatların yorulma çatlağı ilerlemesine karşı gösterdiği direnç monolitik metallere kıyasla daha yüksektir. Bunun sebebi malzemenin iç yapısındaki fiber köprüleme olarak adlandırılan mekanizma ile açıklanır. Monolitik metallerde oluşan yorulma çatlağı, çatlak ucundaki gerilim yoğunlaşması oluşan çatlağın hızla ilerlemesine neden olur. Ancak FML yapısında metal tabakada oluşan çatlak, sağlam fiberler sayesinde çatlağın açılmasını kısıtlar ve yükü metalden fiberlere aktarır [1, 2, 3].

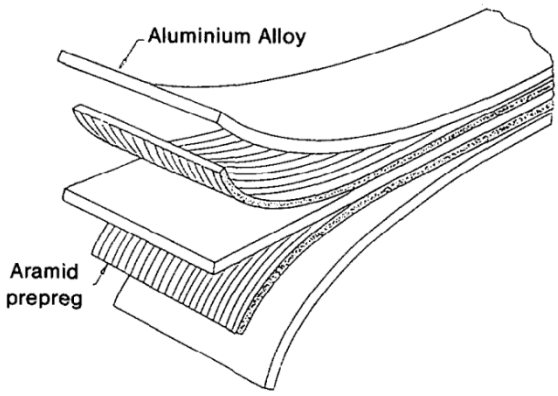


Görsel 3. Fiberlerin çatlak köprülemesi ve tabakaların delaminasyonu [4].

Bu mekanizma sayesinde çatlak ucundaki gerilim şiddeti absorbe edilir ve çatlak ilerleme hızı eşdeğer kalınlıktaki monolitik alüminyumlara kıyasla 10 ila 100 kat arasında yavaşlatılır. Bu yapısal avantajın sürdürülebilirliği, metal ve kompozit tabakalar arasındaki arayüzeyin kalitesine ve yük aktarım kapasitesine bağlıdır. Metal ile polimer matris arasındaki zayıf bir yapışma delaminasyona yol açarak fiber köprüleme etkisini tamamen devre dışı bırakabilir. Bu risk metal yüzeyine uygulanan işlemleri ve arayüzey mühendisliğini FML'lerin nihai mekanik performansını belirleyen en kritik faktör haline getirmektedir [1-3, 5].

1.1.ARALL (Aramid Reinforced Aluminum Laminate)

1980'lerin başında Delft Teknoloji Üniversitesi geliştirilen ARALL (Aramid Reinforced Aluminum Laminate), ilk ticari Fiber Metal Laminat (FML) malzemesidir. ARALL'ın geliştirilmesindeki temel amaç, alüminyum alaşımlarının izotropik özellikleri ile aramid liflerin üstün yorulma direncini tek bir hibrit yapıda birleştirmektir. Vogelesang ve Gunnink, Airbus A310 gibi uçaklarda kompozit kullanımının arttığını ancak metalik yapıların güvenilirliği ile kompozitin hafifliğini birleştiren hibrit yapıların özellikle yorulma yüklerinin baskın olduğu gövde ve alt kanat kaplamalarında %30'un üzerinde ağırlık tasarrufu sağlayabileceğini belirtmiştir [6].



Görsel 4. Alüminyum ve aramid prepregden katmanlardan oluşan ARALL'ın laminat yapısı [6].

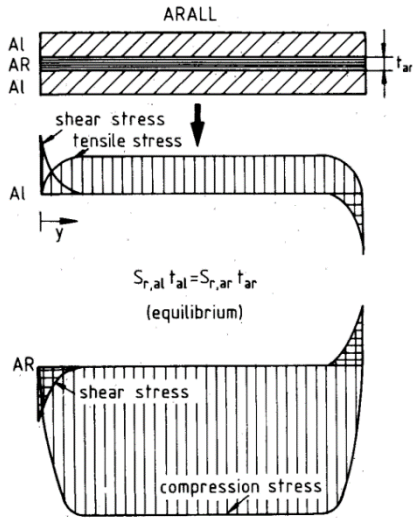
1980 yılında başlayan tasarım çalışmaları sonucunda ARALL kullanılarak üretilen kanat panellerinin geleneksel alüminyum kullanılan panellere göre %25'ten fazla ağırlık tasarrufu sağladığı ortaya çıkmıştır. 1985'te başlayan tam ölçekli testlerde ARALL panelleri statik ve yorulma yükleri altında test edilmiş ve çatlaksız uçuş ömrünün 45.000 uçuş saatini aştığı hedeflenmiştir [6].

ARALL, standart olarak 0.3 mm - 0.5 mm ince alüminyum levhalar ve bunların arasına yerleştirilen prepreg katmanlarından oluşur [6].

Çizelge 1. Ticari olarak mevcut olan ARALL laminatları [7].

Malzeme	Metal Alaşımı	Metal kalınlığı (mm)	Elyaf katman (mm)	Fiber yönelimi
ARALL 1	7075-T6	0.3	0.22	0/0
ARALL 2	2024-T3	0.3	0.22	0/0
ARALL 3	7475-T76	0.3	0.22	0/0
ARALL 4	2024-T8	0.3	0.22	0/0

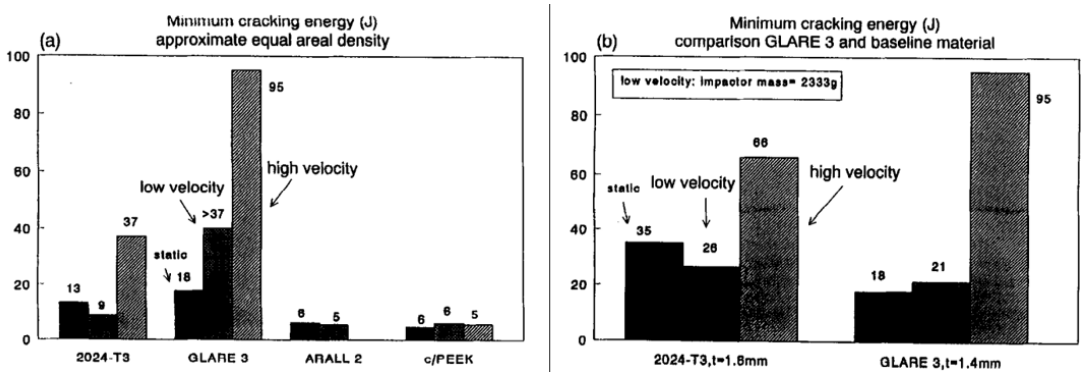
ARALL'ın üretiminde kürleme sonrası uygulanan ön gerilme işlemi malzemenin nihai dayanımı için kritik bir öneme sahiptir. Kürleme sırasında oluşan termal genleşme farkları ve alüminyumda istenmeyen çekme gerilmeleri yaratarak mekanik özellikleri zayıflatır. Bu durumu tersine çevirmek için malzemeye %0.4 ile %0.5 arasında bir plastik deformasyon uygulanır. Marissen (1988) tarafından yapılan çalışmalar bu deformasyonun alüminyum tabakalarda kalıntı basma gerilmeleri oluşturduğunu ve bu sayede yorulma çatlağı oluşumunun neredeyse tamamen engellendiğini kanıtlamaktadır [6, 8].



Görsel 5. Kürleme sonrası ARALL'daki kalıntı gerilme sisteminin şematik gösterimi [8].

ARALL malzemesinin zayıf noktası aramid fiberin basma mukavemetinin düşük olması nedeniyle darbe dayanımıdır. Vlot, ARALL, GLARE ve monolitik alüminyumu karşılaştırdığı çalışmasında ARALL'ın darbe enerjisi sönümleme kabiliyetinin GLARE'den düşük olduğunu bulmuştur [9].

Darbe testlerinde ARALL numunelerinde minimum çatlak oluşum enerjisi, karbon kompozitlerle benzer seviyede iken cam fiberli GLARE malzemesinde bu değer çok daha yüksektir. Ancak darbe sonrası yorulma testlerinde ARALL panelleri darbe hasarı almış olsalar bile çatlak ilerlemesini durdurabilme yetenekleri sayesinde alüminyum alaşımlarından çok daha üstün bir performans sergiler [6, 9].



Görsel 6. Malzemelerin minimum çatlak oluşum enerjilerinin karşılaştırılması [9].

1.2.GLARE

İlk nesil FML olan ARALL kanat alt yüzeyleri gibi çekme gerilmelerinin baskın olduğu bölgelerde başarılı sonuçlar vermesine rağmen uçak gövde yapılarında karşılaşılan çift eksenli yüklemeler ve basma gerilmeleri altında yetersiz kalmıştır. Gerilim yığılmalarının yoğun

olduğu kapı köşeleri ve perçin yuvaları gibi bölgelerde aramid liflerin basma mukavemetindeki yetersizlik liflerde kopmalara yol açmıştır [3].

ARALL'ın karşılaştığı bu kısıtlamalardan dolayı 1987 yılında Roebroeks ve Vogelesang aramid yerine S2-cam liflerinin kullanıldığı GLARE'i geliştirilmiştir. Cam liflerin basma ve yorulma altındaki üstün performansı GLARE'in sadece kanatlarda değil uçak gövdesi gibi birincil yapılarda da kullanılabilmesine olanak sağlamıştır [3].

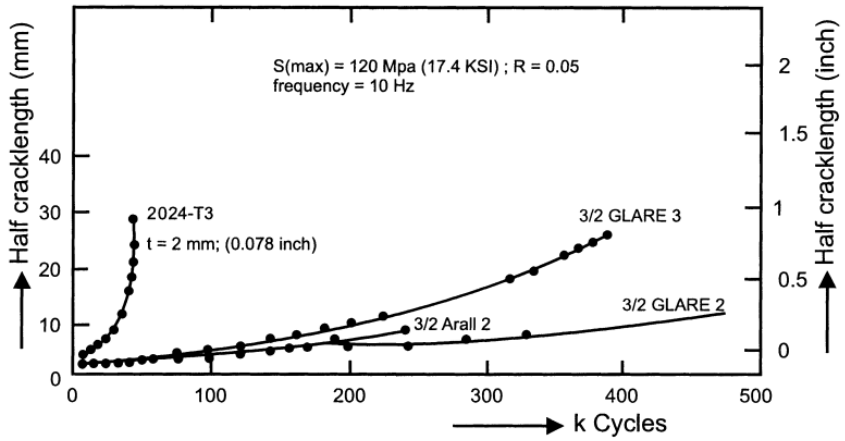
GLARE ince alüminyum alaşım levhalar (2024-T3 veya 7475-T761) ile tek yönlü veya çift yönlü cam elyaf prepreglerin istiflenmesi ve sonrasında 120°C sıcaklıkta otoklavda kürlenmesiyle elde edilen hibrit malzemedir. Malzemenin temel tasarım mantığı metallerin izotropik ve plastik deformasyon özelliklerini, kompozitlerin yüksek özgül mukavemeti ve yorulma direnci ile birleştirmektir [3].

GLARE kullanım alanındaki yükleme tipine göre farklı konfigürasyonlarda üretilmektedir. Standart bir Glare 0.2 mm ile 0.5 mm arasında değişen kalınlıktaki alüminyum levhalar ve epoksi yapıştırıcı cam liflerinden oluşur. GLARE çeşitleri kullanılan alüminyum alaşımı ve fiber yönelimlerine göre 6 ana kategoride sınıflandırılmaktadır [3, 10].

Çizelge 2. Standart GLARE sınıfları ve özellikleri [3].

Glare sınıfı	Metal kalınlığı (mm) ve alaşım	Prepreg yönelimi	Karakteristik avantajlar
Glare 1	0,3-0,4 (7475-T761)	0/0	Yorulma, mukavemet, akma gerilmesi
Glare 2A	0,2-0,5 (2024-T3)	0/0	Yorulma, mukavemet
Glare 2B	0,2-0,5 (2024-T3)	90/90	Yorulma, mukavemet
Glare 3	0,2-0,5 (2024-T3)	0/90	Yorulma, darbe
Glare 4A	0,2-0,5 (2024-T3)	0/90/0	Yorulma, 0° yönünde mukavemet
Glare 4B	0,2-0,5 (2024-T3)	90/0/90	Yorulma, 90° yönünde mukavemet
Glare 5	0,2-0,5 (2024-T3)	0/90/90/0	Darbe
Glare 6A	0,2-0,5 (2024-T3)	+45/-45	Kayma, eksen dışı özellikler
Glare 6B	0,2-0,5 (2024-T3)	-45/+45	Kayma, eksen dışı özellikler

GLARE'in havacılıkta devrim niteliğinde olarak kabul edilmesinin en önemli nedeni, monolitik alüminyuma kıyasla çok daha yavaş çatlak ilerleme hızına sahip olmasıdır. Alderliesten ve ark. tarafından detaylandırıldığı üzere metal tabakalarda yorulma çatlağı başladığında, çatlağın uç kısmındaki gerilme yoğunluğu, çatlağı fiziksel olarak köprüleyen sağlam cam lifleri tarafından sınırlandırılır. Yük, çatlaklı metal tabakadan sağlam fiber tabakalarına aradaki yapıştırıcı vasıtasıyla aktarılır. Bu yük aktarımı sırasında, fiber ile metal arasındaki arayüzde kontrollü bir delaminasyon meydana gelir. Vlot ve Gunnink bu delaminasyonun fiberlerin aşırı gerilerek kopmasını önlediği için aslında çatlak büyümesini yavaşlatan dengeli bir mekanizmanın parçası olduğunu belirtmektedir [3, 11, 12].



Görsel 7. Gövde yüklemesi altında tek yönlü GLARE 2, çapraz katmanlı GLARE 3, ARALL 2 ve 2024-T3 malzemelerinin çatlak ilerleme davranışı [11].

GLARE metal ve kompozit bileşenlerin hibrit yapısı sayesinde çevresel tehditlere karşı üstün direnç gösterir. Standart alüminyum alaşımları bir yangın durumunda yaklaşık 20-30 saniye içinde erirken GLARE laminatlar 15 dakikadan fazla alev geçişini engelleyebilmektedir. Dış alüminyum tabaka erise bile cam elyaf tabakaları yüksek erime sıcaklığı sayesinde bir yangın bariyeri görevi görür ve matris kömürleşerek ısı yalıtımı sağlar [11, 12].

1.3.CARALL

FML ailesinin ticari olarak en bilinen üyeleri aramid lifli ARALL ve cam lifli GLARE olsa da, karbon fiber esaslı CARALL (Carbon Reinforced Aluminum Laminate), bu ailenin üçüncü nesil ve en gelişmiş üyelerinden biri olarak kabul edilmektedir [13].

CARALL'ın geliştirilmesindeki amaç karbon fiberlerin aramid ve cam fiberlere kıyasla çok daha yüksek özgül modüle ve rijitliğe sahip olmasıdır. Bu süreç aramid takviyeli olan ARALL ile başlamış cam takviyeli GLARE ile devam etmiş ve karbon fiberlerin üstün özelliklerinden faydalanılan CARALL ile ileri bir boyuta taşınmıştır. Günümüzde CARALL, FML ailesinin yeni nesil ve gelecek vadeden bir üyesi olarak literatürde yerini almıştır [14, 15].

CARALL tipik olarak 2024-T3 veya 6061 serisi gibi yüksek mukavemetli ince alüminyum alaşım levhaları ile epoksi reçine emdirilmiş karbon fiber prepreglerin kürlenmesiyle elde edilir. Yapısal konfigürasyon dış yüzeylerde alüminyum levhaların bulunduğu, iç kısımda ise kompozit tabakaların yer aldığı sandviç benzeri bir dizilime sahiptir [13, 16, 17].

Bu hibrit yapıda metal bileşenler malzemeye darbe direnci ve çevresel etkilere karşı bariyer özelliği kazandırırken karbon fiber takviyeli polimer tabakalar ise yük taşıyıcı asıl elemanlar olarak görev yapar. Karbon fiberlerin yüksek elastik modülü, CARALL'ın diğer FML türlerine (GLARE ve ARALL) kıyasla çok daha rijit olmasını sağlar. CARALL üretiminde, metal ve kompozit arasındaki arayüzey en kritik bölgedir. Alüminyum yüzeylerin epoksi reçine ile optimum yapışmayı sağlamak amacıyla asitle dağlama, anodizasyon veya silan kaplama gibi çeşitli yüzey işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir [14, 16, 18].

Mekanik avantajlarına rağmen CARALL başta galvanik korozyon olmak üzere çeşitli uygulama zorlukları barındırır. Karbon (katot) ve alüminyum (anot) çiftinin oluşturduğu elektrokimyasal potansiyel farkı nemli koşullarda korozyonu hızlandırdığından fiber-metal arayüzeyinde elektriksel izolasyon veya gelişmiş yüzey işlemlerini zorunlu kılar [14].

İkinci önemli sorun ise ısıl genleşme katsayısı (CTE) uyumsuzluğudur. Alüminyumun yüksek CTE değerine karşılık karbon fiberlerin çok düşük CTE değerine sahip olması, kürleme işlemi sonrası soğuma aşamasında malzemede kalıntı gerilmelerin oluşmasına neden olur. Bu gerilmeler üretim sonrasında veya termal döngüler sırasında arayüzeyde delaminasyon riskini artırabilir ve yorulma direncini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, karbon fiberlerin düşük kopma uzaması malzemenin çentik hassasiyetini artırabilir ve plastik deformasyon kabiliyetini sınırlayabilir [13, 14].

Sahip olduğu yüksek özgül dayanım ve rijitlik özellikleri sayesinde CARALL özellikle uzay ve havacılık uygulamaları için büyük bir potansiyele sahiptir. Literatürde helikopter şaftları, uçak koltukları ve darbe sönümleyici yapısal parçalar gibi alanlarda kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir. Hafiflik ve yüksek mukavemetin kritik olduğu otomotiv ve ulaştırma sektörlerinde de potansiyel bir malzeme alternatifi olarak değerlendirilmektedir [13, 14, 18].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, FML üretiminde metal bileşeni için 1 mm kalınlığında 1050 alaşımı alüminyum plakalar ve kompozit bileşen için VTP H 312 EG 580 T RC38 E-Glass Prepreg kullanılmıştır. Metal bileşene uygulanacak yüzey işlemlerinden yağ alma kimyasalı için, CLEANOL ALK 20 T Asidik Yağ Alma Kimyasalı kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Pre-preg Kompozitlerin Üretimi

Prepreg kompozit 300 mm x 250 mm olacak şekilde 6 adet kesilmiştir. Prepreg içeriğindeki reçine, sıcak prese ve kullanılan kalıba yapışmaması için teflon kumaş ile kaplanmıştır. Sıcak preste, 1 ton basınç altında 15 dakika kürlenmiştir. İşlem sonrası sıcaklığın 40 dereceye düşmesi

beklendikten sonra pres açılmıştır. Yapılmak istenen test standartlarına göre kesilmek için kompozit kesme cihazında numuneler kesilmiştir.

2.2.2. Yağ Alma Kimyasalı Uygulanmış FML'lerin Üretimi

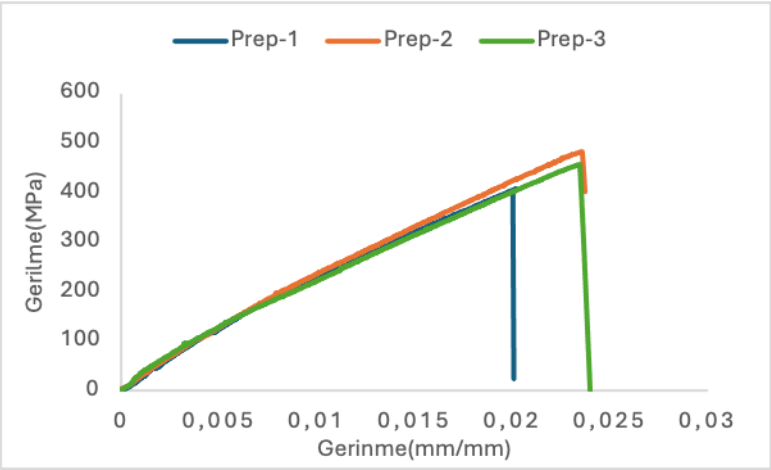
CLEANOL ALK 20 T Asidik Yağ Alma Kimyasalı %5 derişimde PP kapta hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltiye 300 mm x 250 mm alüminyum plakalar eklenmiştir. Plakaların her bir yüzeyi 5 dakika çözeltide kaldıktan sonra çıkartılarak su ile durulanmıştır. Durulama işlemi sonrası 120 °C sıcaklıkta 15 dk boyunca etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkartılan plakalar ve kesilmiş prepregler şu şekilde istifleniştir. En alt katmanda alüminyum plaka, üç katman E-Cam prepreg ve üst katmanda alüminyum plaka olarak istiflenmiştir. Prepreg içeriğindeki reçine, sıcak prese ve kullanılan kalıba yapışmaması için teflon kumaş ile kaplanmıştır. Sıcak preste, 1 ton basınç altında 15 dakika kürlenmiştir. İşlem sonrası sıcaklığın 40 dereceye düşmesi beklendikten sonra pres açılmıştır. Elde edilen FML kompozit, su jeti ile yapılmak istenen test standartları doğrultusunda kesilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

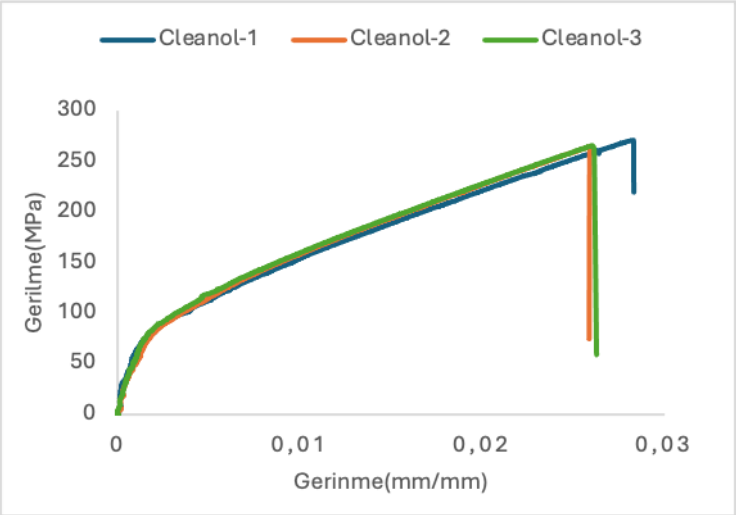
Bu kısımda metal katmanına yağ alma kimyasalı ve kromat kaplama yapılmış FML sistemlere ek olarak E-Cam prepregden oluşan kompozitlerin test sonuçlarına yer verilmiştir. Mekanik olarak çekme ve üç nokta eğme testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonrası metal katmanlarına yüzey işlemleri uygulanmış FML kompozitlerin test sonuçları tartışılmıştır.

3.1. Çekme Testleri Sonuçları

Yüzey işlemleri uygulanmış FML'ler ve prepreg kompozit numunelerin mekanik davranışlarını belirlemek amacıyla çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Prepreg kompozit ve metal katmanlara sadece yağ alma işlemi uygulanmış FML sistemler olmak üzere iki grup incelenmiştir. Her bir koşul için en az 3'er adet numune test edilmiştir. Elde edilen gerilme/gerinme grafikleri ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve gerilme-gerinme grafikleri Görsel 8 ve 9'da verilmiştir. Çekme testi sonrası elde edilen veriler, ortalama çekme mukavemeti ve elastisite modülü değerleri standart sapmaları ile birlikte Çizelge 3'te özetlenmiştir.



Görsel 8. Prepreg numunelerin gerilme/gerinme grafiği



Görsel 9. Yağ alma kimyasalı uygulanmış numunelerin gerilme/gerinme grafiği

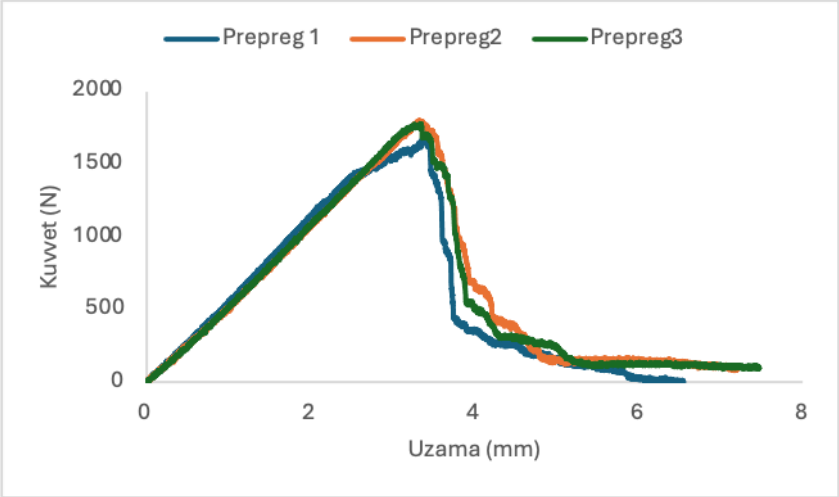
Çizelge 3, Görsel 8 ve 9'daki grafikler incelendiğinde, numunelerin türüne bağlı olarak belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Prepreg numunelerin gerilme/gerinme eğrileri incelendiğinde, malzemenin gevrek bir kırılma davranışı sergilediği ve kopma anına kadar elastik bir davranış sergilediği görülmektedir. Prepreg numuneler, ortalama 448,19±38,21 MPa ile en yüksek çekme mukavemeti değerini verirken, elastisite modülü açısından 21,26±0,50 GPa ile en düşük rijitliği göstermiştir. Metal katmana sahip FML numuneler ve prepreg kompozit yapılar kıyaslandığında farklı bir deformasyon karakteristiği sergilediği görülmektedir. Bu iki grupta yaklaşık 80-100 MPa gerilme değerlerinden sonra elastik deformasyondan çıkarak plastik deformasyon bölgesine geçtiği gözlemlenmektedir. Sadece yağ alma kimyasalı uygulanan (cleanol) numunelerin ortalama çekme mukavemeti 265,64±0,18 MPa olarak ölçülürken, elastisite modülü 50,32±0,18 GPa olan değerine yükselmiştir.

Çizelge 3. Prepreg ve yüzey kimyasalı uygulanmış FML'lerin çekme test sonuçları

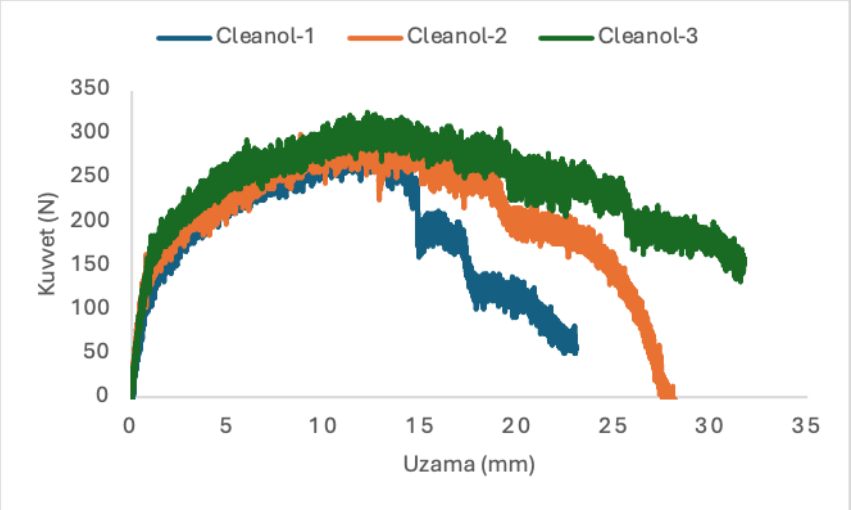
Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (Gpa)	Ort. Çekme Mukavemeti (Mpa)	Ort. Elastisite Modülü (Gpa)
Cleanol -1	265,609	51,42	265,642±0,18	50,32±0,18
Cleanol -2	265,48	46,62		
Cleanol -3	265,837	52,9		
Prepreg -1	406,45	21,36	448,185±38,21	21,26±0,50
Prepreg -2	481,437	21,71		
Prepreg -3	456,668	20,72		

3.2. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Yağ alma kimyasalı uygulanmış metal/kompozit esaslı FML numunelerin ve tekil pre-preg kompozit örneklerin düzlem dışı yükleme koşulları altındaki mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 3 nokta eğme testi gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında prepreg ve cleansol uygulanan iki farklı test grubunun eğme mukavemeti ve eğme modülü değerleri ilgili ASTM standardı baz alınarak hesaplanmıştır. Test standartlarını sağlamak için her bir gruptan en az 3'er adet test numunesi kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda elde edilen kuvvet/uzama davranışlarını gösteren grafikler sırasıyla; prepreg grubu için Görsel 11'de ve Cleanol yağ alma kimyasalı ile entegre edilen FML test grubu için Görsel 12'de verilmiştir. Bu testler sonucu hesaplanan ortalama eğme mukavemeti ve eğme modülü değerleri standart sapmaları ile Çizelge 4'te özetlenmiştir.



Görsel 11. Prepreg numunelere ait kuvvet/uzama grafiği



Görsel 12. Yağ alma kimyasalı uygulanmış numunelere ait kuvvet/uzama grafiği

Çizelge 4. Prepreg ve yüzey kimyasalı uygulanmış FML'lerin eğme testi sonuçları

Numune	Eğme Mukavemeti (MPa)	Eğme Modülü (GPa)	Ortalama Eğme Mukavemeti (MPa)	Ortalama Eğme Modülü (GPa)
Prepreg-1	587,505	25,8	585,933±19,97	23,877±1,77
Prepreg-2	605,069	23,5		
Prepreg-3	565,226	22,33		
Cleansol-1	251,894	45,03	260,288±8,43	53,707±10,12
Cleansol-2	268,745	64,83		
Cleansol-3	260,226	51,26		

Çizelge 4'teki veriler incelendiğinde, prepreg grubu ile metal katmana sahip FML metal/kompozit grubu arasında belirgin mekanik davranış farklılıkları olduğu görülmektedir. Prepreg numuneler, ortalama 585,93±19,97 MPa ile açık ara en yüksek eğme mukavemetine ulaşmıştır. Bu yüksek mukavemete karşılık 23,88 GPa ile test edilen gruplar arasındaki en düşük eğme modülü değerine ulaşmışlardır. Prepreg grubuna ait kuvvet-uzama grafiği Görsel 11 incelendiğinde, malzemenin çok yüksek yüklere kadar lineer elastik bir davranış gösterdiği ve ardından gevrek bir kırılma yaşadığı görülmektedir. Bu durum, prepreg numunelerin daha yüksek fiber hacim oranına sahip olması ile açıklanabilir. Cleanol yüzey kimyasalı uygulanan numunelerde ise 260,29±8,43 MPa ortalama mukavemet ve 53,71±10,12 GPa ortalama modül değeri elde edilmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, havacılık ve ileri mühendislik uygulamalarında tercih edilen Fiber Metal Laminat (FML) kompozitlerin mekanik davranışları ve metal/polimer arayüzey dayanımı üzerinde yüzey işlemlerinin etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada metal bileşen olarak 1050 serisi alüminyum alaşımı ve kompozit bileşen olarak ise E-Cam/Epoksi prepreg kullanılmıştır. Metal katmanların yüzeylerinin modifikasyonu amacıyla yağ alma ve kromatlama olmak üzere iki farklı yüzey işlemi uygulanmıştır. Üretilen FML kompozitler metal katman içermeyen prepreg kompozitler ile karşılaştırılmıştır.

Numuneler sıcak presleme ile üretilmiş ve mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve üç nokta eğme testleri yapılmıştır. Elde edilen değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Çekme ve eğme testleri sonucunda, prepreg numuneler ile alüminyum takviyeli FML numuneler arasında davranış farkı gözlemlenmiştir. Prepreg numuneler, yük altında elastik bir davranış sergilemiş ve plastik deformasyon göstermeksizin gevrek kırılma ile hasara uğramıştır. Buna karşılık metal katman içeren FML'ler ise alüminyumun sünek yapısı sayesinde belirgin bir plastik deformasyon bölgesi göstermiştir. FML kompozitlerin enerji sönümleme kabiliyetinin saf kompozitlere göre daha yüksek olduğunu ve ani hasar riskini azalttığını göstermektedir.
- Çekme testinde en yüksek mukavemet değeri ortalama 448,19±38,21 MPa ile prepreg grubunda elde edilmiştir. Asidik yağ alma işlemi uygulanan numunelerin ortalama çekme mukavemeti ise yaklaşık %68 oranında azalarak 265,64±0,18 MPa olarak bulunmuştur.
- Üç nokta eğme testinde prepreg numuneler 585,93±19,97 MPa ile en yüksek mukavemet değerini vermiştir. Eğme modülü değerleri incelendiğinde FML kompozitlerin metal katmanların etkisiyle daha rijit davrandığı ve yağ alma kimyasalı ile entegre edilen FML numunelerin ortalama 53,70±10,12 GPa ile en yüksek modül değerine ulaştığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

1. E. C. Botelho, R. A. Silva, L. C. Pardini, and M. C. Rezende, "A review on the development and properties of continuous fiber/epoxy/aluminum hybrid composites for aircraft structures," *Mater. Res.*, vol. 9, no. 3, pp. 247–256, Sept. 2006.

2. M. Caggiano, M. R. Saffioti, and G. Rotella, "Fiber Metal Laminates: The Role of the Metal Surface and Sustainability Aspects," *J. Compos. Sci.*, vol. 9, no. 1, p. 35, Jan. 2025, doi: 10.3390/jcs9010035.

3. A. Vlot and J. W. Gunnink, Eds., *Fibre Metal Laminates: An Introduction*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001.

4. S. U. Khan, R. C. Alderliesten, and R. Benedictus, "Crack Growthin Fibre Metal Laminates Under Variable Amplitude Loading," in *ICAF 2009, Bridging the Gap between Theory and Operational Practice*, M. J. Bos, Ed., Dordrecht: Springer Netherlands, 2009, pp. 839–858.

5. M. Caggiano, M. R. Saffioti, G. Rotella, and S. Enrico, "Fiber Metal Laminates: From Production to Sustainability Assessment," in *Decarbonizing Value Chains*, H. Kohl, G. Seliger, F. Dietrich, and H. T. Vien, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 461–468.

6. L. B. Vogelesang and J. W. Gunnink, "ARALL: A materials challenge for the next generation of aircraft," *Mater. Des.*, vol. 7, no. 6, pp. 287–300, Nov. 1986.

7. M. Chandrasekar, M. Ishak, M. Jawaid, Z. Leman, and S. Sapuan, "An experimental review on the mechanical properties and hygrothermal behaviour of fibre metal laminates," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 36, no. 1, pp. 72–82, Jan. 2017,.

8. R. Marissen, “Fatigue crack growth predictions in Aramid reinforced aluminum laminates (ARALL),” *J. Aircr.*, vol. 25, no. 2, pp. 135–140, Feb. 1988.

9. A. Vlot, “Impact properties of Fibre Metal Laminates,” *Compos. Eng.*, vol. 3, no. 10, pp. 911–927, Jan. 1993.

10. B. Cetinkaya, E. Yilmaz, İ. Özkol, İ. Şen, and T. Saracyakupoglu, “Development of Structural Model of Fiber Metal Laminate Subjected to Low-Velocity Impact and Validation by Tests,” *J. Compos. Sci.*, vol. 9, no. 7, p. 322, June 2025.

11. L. B. Vogelesang and A. Vlot, “Development of fibre metal laminates for advanced aerospace structures,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 103, no. 1, pp. 1–5, June 2000.

12. R. Alderliesten, “Fatigue and Damage Tolerance of Glare,” *Appl. Compos. Mater. - APPL COMPOS MATER*, Jan. 2003.

13. C. She, J. Xie, Z. Mao, Y. Liu, and J. Ding, “Molding preparation and tensile properties test of carbon fiber reinforced aluminum laminates,” *Matér. Rio Jan.*, vol. 28, no. 4, p. e20230250, 2023.

14. T. Sinmazçelik, E. Avcu, M. Ö. Bora, and O. Çoban, “A review: Fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods,” *Mater. Des.*, vol. 32, no. 7, pp. 3671–3685, Aug. 2011.

15. S. Gao, W. Hou, J. Xing, and L. Sang, “Numerical and Experimental Investigation of Flexural Properties and Damage Behavior of CFRTP/Al Laminates with Different Stacking Sequence,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 3, p. 1667, Jan. 2023.

16. W. Zhu, H. Xiao, J. Wang, and X. Li, “Effect of Different Coupling Agents on Interfacial Properties of Fibre-Reinforced Aluminum Laminates,” *Materials*, vol. 14, no. 4, p. 1019, Feb. 2021, doi: 10.3390/ma14041019.

17. J. Bieniaś, P. Jakubczak, B. Surowska, and K. Dragan, “Low-energy impact behaviour and damage characterization of carbon fibre reinforced polymer and aluminium hybrid laminates,” *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 15, no. 4, pp. 925–932, Sept. 2015, doi: 10.1016/j.acme.2014.09.007.

18. M. Dündar, “Experimental Investigation of the Effects of Fiber Direction and GNP Reinforcement on the Structural Behavior of CARALL FML Composites,” vol. 14, 2025.

AÇIK SOSYAL POLITIKA VERILERIYLE ÖZ-DÜZENLEME SÖYLEMI: AVRUPA'DA BIREYSEL SORUMLULUK, SOSYAL KORUMA VE DEVLET BEKLENTISI İLIŞKISI

Doç. Dr. Demet Dönmez

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

demetdonmez670@gmail.com -ORCID: 0000-0002-5833-9088

Özet

Bu çalışma, Avrupa sosyal politikalarındaki öz-düzenleme ve bireysel sorumluluk söylemlerini açık veri kaynaklarından elde edilen veriler ışığında inceleyen kapsamlı bir analiz sunar. Avrupa'da refah devletleri son otuz yılda neoliberal reformlar, demografik değişim ve mali disiplin rejimlerinin baskısı altında dönüşüme uğradı. Aktif işgücü politikalarının yükselişi, çalışabilirlik ve yaşam boyu öğrenme gibi kavramların merkeze yerleşmesi, yurttaşların sosyal risklerini yönetme görevlerini bireysel düzeyde üstlenmesini teşvik etti. Bu dönüşüm, birey-devlet ilişkisine dair yeni normlar doğurdu ve responsibilisation kavramı altında yeniden kavramsallaştırıldı. Araştırmamızda, *European Social Survey*'den elde edilen bireysel tutum göstergelerini, Uluslararası Para Fonu'nun *Hükümet Mali İstatistikleri (GFS)* veritabanından alınan sosyal koruma, eğitim ve sağlık harcamalarıyla birleştirerek Avrupa ülkeleri arasında çok düzeyli bir karşılaştırma yapıyoruz. *QoG Standard TS* veri setinde yer alan ülkeler arası ortalamalar ve yüzdelikler, açık verilerin politika analizlerinde nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Kümelenme algoritmaları ve karma regresyon modelleri kullanarak bireysel sorumluluk söyleminin maddi harcama kalemleriyle ilişkisini test ediyor ve politikacılara güven gibi demokratik katılım göstergeleri üzerindeki etkisini tartışıyoruz. Bulgular, kişiler arası güvenin politik güven üzerinde belirleyici rol oynadığını, buna karşın sosyal koruma ve eğitim harcamalarının doğrudan etkisinin zayıf olduğunu ortaya koymaktadır. Sağlık harcamalarının yüksek olduğu ülkelerde politikacılara güvenin azaldığı gözlemlenmiş, bu sonuç neoliberal söylemin sosyal politikaların performansına ilişkin algıları nasıl etkileyebileceğini düşündürmektedir. Çalışma, açık verilerle desteklenen nicel analizlerin söylemsel dönüşümleri aydınlatma gücüne dikkat çekerek, Avrupa'da refah devleti ve demokratik temsil tartışmalarına özgün bir katkı sunmaktadır.

Giriş

Refah devletleri, İkinci Dünya Savaşı sonrasında ekonomik büyüme ve sosyal dayanışma idealleri çerçevesinde inşa edilen geniş kapsamlı koruma programları üzerine kuruluydu. Ancak 1970'lerin sonunda ortaya çıkan ekonomik durgunluk ve petrol krizleri, devlet müdahaleciliğine yönelik eleştirileri güçlendirdi ve neoliberal politika paradigmasına geçişi hızlandırdı. Bu paradigma, devletin rolünü piyasa mekanizmalarını düzenlemekle sınırlı tutarken, bireylerin kendi refahlarının mimarı olarak görülmesi gerektiğini savunuyordu. Avrupa'da 1980'lerden itibaren uygulanan mali disiplin politikaları ve özelleştirme programları, refah harcamalarının kısıtlanmasına ve sosyal sigorta sistemlerinin yeniden yapılandırılmasına yol açtı. Maastricht Antlaşması ve 1997 Amsterdam Antlaşması sonrasında Avrupa Birliği, ortak para politikasını güçlendirirken sosyal politikaları üye devletlerin takdirine bıraktı; bununla birlikte Lizbon Stratejisi ve Avrupa İstihdam Stratejisi aracılığıyla belirli yol haritaları belirledi. Lisans ve yüksek lisans düzeyinde eğitimde standartların uyumlu hale gelmesi, Bologna süreci aracılığıyla teşvik edildi; böylece hareketlilik ve işgücü piyasası esnekliği amaçlandı.

Bu dönemde literatürde *responsibilisation* kavramı ön plana çıktı. Kavram, bireylerin yaşam koşullarını ve risklerini yönetme yükümlülüğünün bireysel sorumluluk olarak kurgulanmasına dikkat çeker. Sosyal politika disiplininde, bu süreç çoğu zaman neoliberalizmin hegemonik ideolojisiyle ilişkilendirilir ve biyo-iktidarın modern bir formu olarak değerlendirilir. Michel Foucault'nun yönetimsellik analizi, modern devletin iktidar tekniklerinin disipliner yapılardan daha incelikli düzenlemelere kaydığını vurgular; bireyler, dışsal zorlamalardan ziyade içselleştirilmiş normlar ve öz-düzenleme mekanizmaları aracılığıyla kontrol edilirler. Neoliberal yönetimsellik çerçevesinde, işgücü piyasası politikaları yardımları koşullandırmakta, işsizler beceri kurslarına katılım ve iş arama aktivitelerini sürdürme yükümlülüğüyle karşı karşıya kalmaktadır. Böylece sosyal yardım programları, hem teşvik hem de yaptırım unsurları barındırarak sorumluluğu bireylere aktarır. Diğer yandan, devletin mali disiplin hedefiyle uyumlu şekilde harcama kalemleri daraltılmıştır. Avrupa Birliği ve üye devletler, sağlık ve emeklilik sistemleri dahil olmak üzere sosyal koruma programlarını sürdürülebilir kılmak için reformlar geliştirmiştir.

Refah devletlerinin dönüşümü yalnızca ekonomik krizlerin değil, aynı zamanda demografik değişim, küreselleşme ve teknolojik dönüşümlerin de sonucudur. Avrupa ülkeleri hızla yaşlanmakta; bu durum sağlık ve emeklilik harcamalarını artırırken genç nüfusun işgücü piyasasına geçişini zorlaştırmaktadır. Dijitalleşme, yeni istihdam biçimlerini ve gig ekonomiyi ortaya çıkararak esnek çalışmayı yaygınlaştırmıştır. Bu değişimler, sosyal politikaların kapsayıcılığını sorgularken bireylerin yetkinliklerini sürekli güncellemesini zorunlu kılar. Hayat boyu öğrenme stratejileri ve aktif işgücü politikaları bu bağlamda ön plana çıkmış; devletler iş bulma kurumlarını, mesleki eğitim programlarını ve girişimcilik desteklerini yenilemişlerdir. Bu nedenle çalışmamız, öz-düzenleme söyleminin uygulamada nasıl kurumsallaştırıldığını ve bireylerin devletten beklediği sorumlulukları nasıl etkilediğini anlamak için önemli bir fırsat sunar.

Ayrıca, açık veri devrimi sosyal politika analizinde yeni imkanlar yaratmıştır. Avrupa Birliği'nin veri şeffaflığı ilkeleri doğrultusunda, Eurostat, OECD ve ulusal istatistik ofisleri kamu harcamaları ve sosyal sonuçlara ilişkin verileri erişime açmıştır. *Quality of Government (QoG) Institute*, bu açık verileri derleyerek 1946'dan 2024'e kadar tüm ülkeler için bir zaman serisi veri seti oluşturmuştur; bu veri seti ülkeler arası karşılaştırmalar için zengin bir kaynak sunar. Araştırmada QoG veri setini ESS verileriyle birleştirerek, Avrupa'da sosyal harcama göstergeleri ve bireysel tutumlar arasındaki ilişkileri nicel olarak test edildi.

1.Teorik Çerçeve ve Hipotezler

Öz-düzenleme ve bireysel sorumluluk kavramları, Foucault'nun iktidar analizinden ilham alan post-yapısalcı teorilerin temel unsurlarıdır. Bu yaklaşımlar, modern iktidarın yaygın ve dağınık bir formda gerçekleştiğini; disipliner kurumların yanı sıra bireylerin kendilerini disipline etme süreçleri ile işlediğini savunur. Neoliberalizm, bu süreci ekonominin merkezine yerleştirerek, piyasa aklını günlük yaşamın her alanına yaymayı hedefler. Öz-düzenleme söylemi, sağlıklı yaşam tarzı kampanyalarından finansal okuryazarlığa kadar pek çok politika alanında karşımıza çıkar. Yurttaşlar, yalnızca tüketici olarak değil; risk yöneticisi, girişimci ve öz sermayelerini artırmakla yükümlü aktörler olarak tasvir edilir. Bu söylemin kurumsallaşması, sosyal politikalara iki önemli yenilik getirmiştir: birincisi, hakların yerini giderek koşullu yardımların alması; ikincisi, sorumluluk ve beceri retoriğinin bireysel kabahatleri öne çıkarması.

Refah rejimleri literatürü, bu süreçlerin ülkeden ülkeye değişebileceğini gösterir. Esping-Andersen'in üçlü (1990) sınıflandırmasında liberal rejimler (Birleşik Krallık, İrlanda), sosyal

harcamaların düşük tutulduğu ve piyasaya bağımlılığın yüksek olduğu yapılarla tanımlanır. Muhafazakâr-Kıta Avrupası rejimlerinde (Almanya, Avusturya, Fransa) meslek kuruluşları ve aile güçlüdür; sosyal sigorta sistemleri işgücüne dayalıdır, ancak mali sürdürülebilirlik baskısı nedeniyle reformlar yapılmaktadır. Sosyal demokrat İskandinav rejimlerinde (Danimarka, İsveç, Norveç, Finlandiya), evrensel sosyal haklar ve cömert hizmetler mevcut olmakla birlikte, son on yıllarda aktif işgücü politikaları ve esneklik-güvence (flexicurity) modelleri devreye sokulmuştur. Ferrera'nın (1996) Akdeniz modeli (İtalya, İspanya, Yunanistan, Portekiz) ve post-sosyalist Doğu Avrupa rejimleri, aile ve kayıt dışı ağlara dayanan geçiş ekonomilerini yansıtır. Bu çeşitlilik, öz-düzenleme söyleminin farklı kurumlarla eklemlenebileceğini ve politik sonuçlarının değişebileceğini gösterir.

Toplumsal sermaye teorileri ise, bireyler arası güven ve normların demokratik yönetişim ve ekonomik performans üzerindeki etkisine odaklanır. Putnam (2000), gönüllü dernekler ve sosyal ağlar aracılığıyla oluşan bağların demokrasiyi güçlendirdiğini savunur. Coleman (1990) ve Fukuyama (1995), güvenin ekonomik işbirliğini kolaylaştırdığına ve kurumsal verimliliği artırdığına işaret eder. Siyasi psikoloji literatürü ise politikacılara duyulan güvenin, kişisel deneyimler, ekonomik performans, medya söylemi ve toplumsal ilişkilerle şekillendiğini belirtir. Yüksek kişiler arası güven düzeyinin politik güven için bir önkoşul olduğuna dair geniş bir mutabakat vardır. Bu nedenle çalışma, sosyal harcama göstergeleriyle kişiler arası güveni birlikte değerlendirerek politik güvenin belirleyicilerini test etmektedir.

Buna dayanarak şu hipotezler geliştirilmiştir:

- **H1:** Sosyal koruma harcamalarının GSYH'ye oranı arttıkça, neoliberal retorik gereği bireyler devletin sorumluluklarını daha az gerekli görerek politikacılara duydukları güveni azaltacaktır.
- **H2:** Eğitim harcamalarının yüksekliği, yaşam boyu öğrenme ve çalışabilirlik vurgusunu artırarak bireysel sorumluluk söylemini güçlendirir ve politikacılara duyulan güveni zayıflatır.
- **H3:** Sağlık harcamalarının yüksekliği, toplumsal dayanışmanın göstergesi olduğundan politikacılara duyulan güveni artırır. Buna karşın harcama artışları, hizmet kalitesi ve erişilebilirlik sorunlarıyla birleştiğinde ters etki yapabilir.
- **H4:** Kişiler arası güven düzeyi yüksek olan ülkelerde politikacılara duyulan güven de yüksek olacaktır; sosyal sermaye politik güven için temel bir belirleyicidir.
- **H5:** Bu ilişkiler refah rejimi tiplerine göre farklılaşır; özellikle sosyal demokrat rejimlerde eğitim ve sosyal harcama artışlarının politik güven üzerindeki etkisi daha ılımlı, liberal rejimlerde ise negatif olacaktır.

2.Veri ve Yöntem

Araştırmada kullanılan veriler, *European Social Survey*'in 2002–2022 yılları arasındaki turlarından elde edilen agregasyonlardan ve QoG Standard TS veri setinde yer alan makro ekonomik göstergelerden türetilmiştir. ESS mikro verileri araştırmacılar için erişim talebi gerektirdiğinden, bu çalışmada QoG veri setindeki ülkeler arası ortalama ve yüzde değerler kullanılmıştır. Söz konusu veri seti, her bir ESS sorusunu ülke düzeyinde ağırlıklandırılmış ortalama olarak sunar ve zaman serisi olarak 1946-2024 yıllarını kapsar. Bu veri setinde ess_trpeople değişkeni, "insanların geneline güvenip güvenmediği" sorusuna verilen yanıtların ortalamasını temsil eder; ess_trpolit değişkeni ise "politikacılara ne kadar güvendiği" sorusunun ortalamasıdır.

Sosyal harcama göstergeleri için, IMF'nin *Government Finance Statistics* veritabanından alınan *gfs_sp* (sosyal koruma harcamaları), *gfs_educ* (eğitim harcamaları) ve *gfs_heal* (sağlık harcamaları) değişkenleri kullanılmıştır. Bu değişkenler, genel hükümet seviyesinde yapılan harcamaların GSYH'ye oranı olarak tanımlanır ve QoG veri seti içerisinde doğrudan bulunmaktadır. Veri kümesine Avrupa Birliği üyesi 27 ülke, Avrupa Serbest Ticaret Birliği üyesi ülkeler (Norveç, İsviçre), Birleşik Krallık ve aday ülkeler (Türkiye hariç) dahil edilmiştir. Çalışma, 2004–2022 yılları arasındaki gözlemleri kapsamaktadır; çünkü ESS turları ve sosyal harcama verileri bu dönemde kesişir.

Veri işleme adımlarında, eksik gözlemler nedeniyle bazı ülke-yıl kombinasyonları dışlanmıştır. Değişkenler, karşılaştırılabilirlik sağlamak üzere standart z-skoruna dönüştürülmüştür. Bağımlı değişken olarak politikacılara güven (ess_trpolit) kullanılmıştır; bu değişken 0'dan 10'a kadar ölçeklendirildiği için analitik kolaylık sağlamak amacıyla standardize edilmiştir. Modeldeki bağımsız değişkenler, sosyal koruma, eğitim ve sağlık harcamalarının z-skorları ile kişiler arası güven ortalamasıdır.

İlk olarak, K-ortalamalar (k-means) kümeleme analizi uygulanarak ülkeler sosyal harcama profillerine göre sınıflandırılmıştır. K değeri, dirsek (elbow) yöntemine ve açıklanan varyansın incelenmesine dayanarak 3 olarak belirlenmiştir. Kümeleme sonucunda üç farklı harcama profili ortaya çıkmıştır: düşük eğitim/ yüksek sosyal koruma harcaması kümesi (Küme 0), yüksek eğitim/ orta düzeyde sosyal koruma harcaması kümesi (Küme 1) ve kapsamlı harcama profiline sahip küme (Küme 2). Kümeleme analizi, refah rejimleri literatüründe belirtilen farklılıkları ölçüsel olarak doğrulamaya yardımcı olur.

Daha sonra, politikacılara güveni etkileyen faktörleri değerlendirmek için çok düzeyli bir doğrusal regresyon modeli tahmin edilmiştir. Regresyon modeli, birey düzeyi değil; ülke-yıl düzeyinde değişkenler içerdiğinden, rastgele kesişim terimleri ülke düzeyinde tanımlanmıştır. Model şu şekilde formüle edilmiştir:

$$\mathbf{Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{1ij} + \beta_2 X_{2ij} + \beta_3 X_{3ij} + \beta_4 X_{4ij} + u_j + \varepsilon_{ij}},$$

burada Y_{ij} politikacılara güven, X_1 sosyal koruma harcamaları, X_2 eğitim harcamaları, X_3 sağlık harcamaları ve X_4 kişiler arası güven değişkenleridir; u_j ülke düzeyindeki rastgele etkiyi, ε_{ij} hata terimini temsil eder. Katsayılar, maksimum olasılık tahmini ile hesaplanmıştır. Ayrıca, regresyon sonuçlarına ek olarak, her küme için politik güven ortalamaları incelenmiş ve ülkeler arası varyans değerlendirilmiştir.

Analizin sınırlılıkları da vurgulanmalıdır. Öncelikle, ESS verileri birey düzeyinde ayrıntılı sorular sunsa da bu çalışmada kullanılan versiyon ülkeler arası ortalamalarla sınırlıdır; böylece mikro düzeydeki heterojenlik göz ardı edilmektedir. Ayrıca, nedensel yorumlamalar dikkatle yapılmalıdır; çünkü harcama düzeyleri ile politik güven arasındaki ilişki çift yönlü olabilir. Son olarak, modelde yer almayan ekonomik krizler, medya söylemi ve yolsuzluk skandalları gibi faktörler de politik güven üzerinde etkili olabilir.

3.Bulgular

Kümeleme analizi sonucunda ortaya çıkan üç kümenin sosyal harcama profilleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Küme 0, *düşük eğitim fakat yüksek sosyal koruma* profiline sahip ülkelerden oluşmaktadır; bu kümede sağlık harcamaları da oldukça düşük düzeydedir. Bu grup, Portekiz, Yunanistan, İtalya, Letonya ve Malta gibi ülkeleri içerir. Küme 1, *yüksek eğitim ve orta düzeyde*

sosyal koruma harcamasına sahip ülkeleri kapsamaktadır; burada Norveç, İsviçre, Hollanda, Estonya ve Hırvatistan gibi ülkeler vardır. Küme 2 ise *kapsamlı harcama profili* olarak adlandırılabilir; Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, İrlanda, Lüksemburg, Litvanya, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya ve İsveç gibi ülkeler bu kümede yer alır. Çizelge 1, Avrupa ülkelerinin sosyal politika harcamalarına göre üç farklı refah rejimi kümesine ayrıldığını göstermektedir. Küme 0, sosyal koruma harcamalarının yüksek; eğitim ve sağlık yatırımlarının görece düşük olduğu, daha çok geleneksel ve telafi edici refah anlayışına dayalı ülkeleri temsil etmektedir. Küme 1, eğitim harcamalarının belirgin biçimde öne çıktığı ve bireysel beceri geliştirme ile çalışabilirlik vurgusunun güçlendiği öz-düzenleme odaklı bir politika profilini yansıtmaktadır. Küme 2 ise sosyal koruma, eğitim ve sağlık harcamalarının birlikte yüksek seyrettiği, kapsayıcı refah devleti modeline daha yakın ülkelerden oluşmaktadır. Bu küme yapısı, öz-düzenleme söyleminin Avrupa'da tek tip bir politika deseni üretmediğini; aksine, farklı harcama bileşimleri üzerinden çeşitlenen refah rejimleri içinde kurumsallaştığını ortaya koymaktadır. Çizelge 1'de, esasen bu kümeler için sosyal koruma, eğitim ve sağlık harcamalarının GSYH'ye oranlarının ortalamaları verilmiştir:

Çizelge 1. Avrupa Ülkelerinde Sosyal Politika Harcamalarına Göre Refah Rejimi Kümeleri (Ortalama Değerler)

(Gösterge birimi: GSYH yüzdesi, ülke–yıl ortalamaları)

Küme	Küme Tanımı	Sosyal Koruma Harcaması (%)	Eğitim Harcaması (%)	Sağlık Harcaması (%)
Küme 0	Düşük eğitim – yüksek sosyal koruma	38,53	8,23	12,66
Küme 1	Yüksek eğitim – orta düzey sosyal koruma	30,96	13,88	11,94
Küme 2	Kapsamlı sosyal koruma ve sağlık	38,95	10,96	14,92

Not: Kümeler, sosyal koruma, eğitim ve sağlık harcamalarının z-skorları kullanılarak k-ortalama (k-means) yöntemiyle oluşturulmuştur. Değerler küme içi ülke–yıl ortalamalarını göstermektedir.

Tablodan görüldüğü üzere, Küme 0'da sosyal koruma harcaması yüksek (yaklaşık %38.5 GSYH), ancak eğitim harcaması düşüktür (%8.2 GSYH). Sağlık harcaması ise %12.66 ile orta düzeydedir. Küme 1, eğitim harcamasının en yüksek olduğu (yaklaşık %13.9) ancak sosyal koruma harcamasının en düşük olduğu gruptur (%30.96). Sağlık harcaması %11.94 ile Küme 0'dan düşük, Küme 2'den düşüktür. Küme 2'de tüm harcama kalemleri yüksek seviyededir: sosyal koruma %38.95, eğitim %10.96 ve sağlık %14.92. Bu bulgular, refah rejimi çeşitliliğinin nicel izlerini sunmaktadır.

Küme 1'in içinde yer alan ülkeler, eğitim ve araştırma yatırımlarına ağırlık vererek insan sermayesini artırmayı stratejik öncelik olarak görmektedir. Norveç ve İsviçre gibi yüksek yaşam standartlarına sahip ülkelerde kamu sektörü, inovasyon ve beceri gelişimini desteklemektedir. Buna karşılık, İtalya ve Portekiz gibi Küme 0 ülkelerinde sosyal koruma

harcamalarının yüksekliği, aile ve toplumsal dayanışmanın yerini devlet destekli programlara bırakmasının bir göstergesidir; ancak bu ülkelerde eğitim yatırımları nispeten düşük olduğundan işgücü piyasası esnekliği sınırlı kalmaktadır. Küme 2 ülkeleri ise kapsamlı refah hizmetleriyle dikkat çekmekte; İskandinav ve Kuzey Avrupa ülkelerinde olduğu gibi yüksek vergiler sayesinde hem sosyal koruma hem de eğitim ve sağlık alanında cömert programlar sürdürülebilmektedir.

Politikacılara duyulan güvenin belirleyicilerini değerlendirmek üzere tahmin edilen çok düzeyli regresyon modeli sonuçları Tablo 2'de sunulmaktadır:

Çizelge 2. Politikacılara Güvenin Belirleyicileri: Karma Regresyon Modeli Sonuçları

(Bağımlı değişken: Politikacılara duyulan güven – ESS)

Değişken	Katsayı (β)	Std. Hata	z değeri	p-değeri
Sabit (Intercept)	-0,962	0,427	-2,252	0,024
Kişiler Arası Güven (ess_trpeople)	**0,886**	**0,084**	**10,522**	**0,000**
Sosyal Koruma Harcaması (z-skor)	-0,112	0,067	-1,687	0,092
Eğitim Harcaması (z-skor)	0,037	0,063	0,593	0,553
Sağlık Harcaması (z-skor)	0,023	0,069	0,336	0,737

- Açıklanan varyans (R^2): **0,737**
- Ülke düzeyi rastgele kesişim varyansı: **0,245**
- Gözlem düzeyi: ülke-yıl ortalamaları
- Anlamlılık düzeyi: $p < 0,05$

Regresyon sonuçları, *interpersonal trust* (kişiler arası güven) değişkeninin politikacılara güven üzerinde belirleyici olduğunu doğrulamaktadır: katsayı 0.886 olup p-değeri 0.000'dır. Bu bulgu, toplumsal sermaye teorisini desteklemektedir. Sosyal koruma harcamalarının katsayısı -0.112'dir ve p-değeri 0.092 ile 0.05 eşiğinin üzerindedir; bu sonuç, sosyal koruma harcamalarının politik güveni zayıflatabileceğine dair zayıf bir işaret sunar. Eğitim harcamalarının katsayısı 0.037'dir ve anlamlı değildir; dolayısıyla H2 hipotezi desteklenmemektedir. Sağlık harcamalarının katsayısı 0.023 olup anlamlı değildir; H3 hipotezi de doğrulanmamıştır. Modelin sabit terimi negatif olup (~-0.962), ülkeler arası ortalama politik güvenin genel olarak düşük olduğunu gösterir.

Regresyon modelinin R^2 değeri 0.737'dir ve ülke düzeyindeki rastgele kesişim varyansı 0.245 olarak tahmin edilmiştir. Bu durum, ülkeler arasında politik güven düzeylerinde önemli farklar olduğunu ortaya koyar. Ayrıca, kişiler arası güven değişkeni modele dahil edildiğinde, harcama değişkenlerinin etkisi zayıflamaktadır; bu da sosyal sermayenin politik güven üzerinde baskın bir rol oynadığını göstermektedir.

Bulguları hipotezler bağlamında değerlendirdiğimizde, H1 hipotezinin zayıf biçimde desteklendiği görülmektedir. Sosyal koruma harcamaları arttıkça bireylerin politikacılara güveni bir miktar azalsa da ilişki istatistiksel olarak anlamlı değildir. H2 hipotezi reddedilmiştir; eğitim harcamalarının yüksekliği politik güvene negatif değil, önemsiz bir etki yapmıştır. H3

hipotezi de reddedilmiştir; sağlık harcamaları politik güveni artırmamış, aksine hafif negatif etki göstermiştir. H4 hipotezi ise güçlü biçimde desteklenmiştir; kişiler arası güven düzeyi yüksek olan ülkelerde politikacılara duyulan güven de yüksektir. H5 hipotezi kapsamında, kümeler arası politik güven ortalamaları incelendiğinde Küme 1'de ortalama 3.71, Küme 2'de 3.46 ve Küme 0'da 2.81 olarak hesaplanmıştır. Bu farklar, yüksek eğitim harcamalarının bulunduğu ülkelerde politik güvenin görece yüksek olduğunu göstermektedir; ancak harcama seviyelerinin doğrudan etkisinden ziyade, kültürel ve kurumsal faktörler rol oynamaktadır.

Deskriptif analiz, politik güvenin ülkeler arasında büyük farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Danimarka'da politikacılara duyulan güven ortalaması 5.18 iken Bulgaristan'da 1.78'dir. Bu uçurum, demokratik kurumların kalitesi, yolsuzluk algısı, medya özgürlüğü ve siyasi tarih gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Ayrıca, yüksek gelirli İskandinav ülkelerinde sosyal güvenlik sistemlerine duyulan genel memnuniyetin politik güveni beslediği; Doğu Avrupa ve Akdeniz ülkelerinde ise ekonomik belirsizliklerin ve siyasi istikrarsızlığın güveni erozyona uğrattığı görülmektedir.

4.Tartışma

Çalışmamızın bulguları, öz-düzenleme söyleminin maddi harcama düzeylerinden ziyade toplumsal bağlar ve normatif çerçeveler tarafından şekillendirildiğini göstermektedir. Sosyal harcama değişkenleri beklendiği gibi güçlü ilişkiler sergilememiştir. Bunun birkaç olası nedeni vardır. Birincisi, harcamaların nicel büyüklüğü, politikacılara güven üzerinde tek başına etkili olmayabilir; hizmetlerin kalitesi, erişilebilirliği ve adaleti daha önemli olabilir. Örneğin, sağlık harcamaları yüksek olan ancak hizmet dağıtımında adaletsizlikler yaşayan ülkelerde yurttaşlar memnuniyetsiz olabilir ve bu durum politik güveni düşürebilir. İkincisi, neoliberal retoriğin güçlendiği ülkelerde vatandaşlar sosyal programlara yönelik beklentilerini düşürmüş olabilir; böylece harcama artışları bile güveni artırmamaktadır. Üçüncüsü, politikacılara güveni etkileyen medya söylemi, yolsuzluk skandalları ve ekonomik performans gibi faktörler, harcama göstergelerinin etkisini gölgeleyebilir.

Kişiler arası güvenin etkisi üzerine elde ettiğimiz bulgular, toplumsal sermaye teorilerinin önemini teyit etmektedir. Kolektif eylem ve demokratik katılım için güvenin temel bir kaynak olduğuna dair geniş bir literatür vardır. Putnam'ın ABD örneği üzerinden ileri sürdüğü gibi, sivil toplum örgütlerine katılım ve güven ilişkileri, politik kurumlara duyulan güveni beslemektedir. Bu bağlamda, politika yapıcılar ekonomik büyümeyi desteklemenin yanı sıra toplumsal güveni artıracak mekanizmalar geliştirmelidir. Şeffaflık, hesap verebilirlik ve yolsuzlukla mücadele, güven inşasında kilit önemdedir. Eğitimin içeriği de önemlidir; eleştirel düşünce ve demokratik değerleri güçlendiren eğitim programları, bireyleri sorumluluk bilinciyle donatırken devlet kurumlarına sağlıklı bir mesafe kurmalarını da sağlayabilir.

Refah rejimi tipleri arasında gözlemlediğimiz farklar, sorumluluk söyleminin kurumsal bağlama göre şekillendiğini göstermektedir. İskandinav ülkelerinde yüksek harcama seviyeleriyle birlikte esnek çalışma modelleri ve aktif işgücü programları entegre bir şekilde yürütülmektedir. Bu ülkelerde vatandaşlar sosyal programların bedelini yüksek vergilerle ödediklerinden kamu hizmetlerinin kalitesine ilişkin beklentileri yüksektir; harcama artışları doğrudan güveni artırmasa da hizmetlerin iyi yönetimi güveni beslemektedir. Liberal rejimlerde ise sosyal harcamaların sınırlı olması ve özelleştirilmiş hizmetlerin yaygınlığı, vatandaşların devlete güvenini zayıflatabilir. Akdeniz ve Doğu Avrupa rejimlerinde, aile dayanışması ve kayıt dışı ağlar sosyal güvenlik sistemlerinin boşluklarını doldurmakta; bu nedenle kamu harcamalarının artışı toplumsal algılarda farklı etkilere yol açmaktadır.

Bulgularımız, ayrıca neoliberal söylemin pratikte karmaşık bir şekilde tezahür ettiğini göstermektedir. Sağlık harcamalarının yüksek olduğu ülkelerde güvenin azalması, kamu hizmetlerine ilişkin beklentilerin karşılanmamasından kaynaklanabilir. Harcama artışı, hizmetlerin iyileşeceğine dair umutları yükseltirken; beklenen sonuçlar gerçekleşmediğinde hayal kırıklığına yol açar. Böyle bir durum, neoliberal reformların vaat ettiği verimlilik ve kalite artışı söylemiyle çelişen bir geri tepme etkisi doğurur.

Çalışmanın sınırlılıkları göz önünde bulundurulduğunda, ileri araştırmalar için bazı önerilerde bulunabiliriz. Mikro veri düzeyinde bireylerin sosyoekonomik durumu, eğitim seviyesi, sağlık durumu ve medya tüketim alışkanlıkları gibi faktörler kontrol edilerek daha ayrıntılı modeller kurulabilir. Ayrıca, güvene ilişkin kültürel değerler, medya söylemi ve yolsuzluk algısı endeksleri modele dahil edilerek daha güçlü nedensel çıkarımlar yapılabilir. Zaman serisi kesit verisi yerine panel veri teknikleri kullanılarak ülkeler arası sabit etkiler daha iyi kontrol edilebilir.

Sonuç

Bu araştırma, açık veri kaynaklarını kullanarak Avrupa refah devletlerinin dönüşümünü ve öz-düzenleme söyleminin bireylerin devlet beklentileri üzerindeki etkilerini nicel olarak incelemiştir. Analizler, sosyal harcamaların büyüklüğünün politikacılara güven üzerinde beklenen etkiyi göstermediğini; buna karşın kişiler arası güvenin güçlü bir belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, demokratik meşruiyetin ekonomik göstergelerden ziyade toplumsal sermayeye dayandığını vurgular. Eğitim ve sağlık harcamalarının politik güvene etkisi, bu harcamaların yapıldığı kurumsal bağlam ve hizmet kalitesine bağlı olarak değişmektedir; niceliksel artışlar tek başına yeterli değildir.

Politika yapıcılar için temel sonuç, vatandaşların güvenini kazanmanın yalnızca bütçe kalemlerini artırmakla mümkün olmadığıdır. Şeffaf yönetim, yolsuzlukla mücadele, katılımcı demokrasinin güçlendirilmesi ve sivil toplumun desteklenmesi, bireylerin devlete ve politikacılara duyduğu güveni artıracaktır. Bununla birlikte, bireysel sorumluluğun teşvik edilmesi çok boyutlu bir politikadır; sosyal programların koşullandırılması, işgücü politikaları ve eğitim reformları birlikte ele alınmalıdır. Son olarak, açık veri girişimleri hem akademik araştırmaların hem de yurttaşların kamusal tartışmalara katılımının genişlemesi için kritik bir araçtır. QoG ve ESS verileri gibi kaynaklar, politika analizlerinde nesnel değerlendirmeleri mümkün kılar ve demokrasinin şeffaflığını destekler.

Gelecekteki çalışmalar, medyada yer alan söylemlerin metin analizleriyle bireylerin tutumları arasındaki ilişkiyi, sosyal medyanın politik güven üzerindeki etkisini ve pandemi sonrası dönemde sağlık politikalarının yeniden şekillenmesinin toplumsal etkilerini ele alabilir. Ayrıca, dijitalleşme ve yapay zekâ teknolojilerinin sosyal politika ve işgücü piyasaları üzerindeki etkileri, bireylerin sorumluluklarını yeniden tanımlayacaktır. Bu bağlamda, öz-düzenleme söyleminin evrimi ve refah devletiyle vatandaş arasındaki sözleşmenin geleceği ilgi çekici araştırma konuları olarak karşımızda durmaktadır.

Çalışmanın sonuçlarına ek olarak, öz-düzenleme söyleminin toplumsal cinsiyet, sınıf ve etnik ayrımlar üzerinde nasıl farklılaştığını irdelemek faydalı olacaktır. Feminist ekonomi literatürü, öz-düzenleme politikalarının kadın emeği üzerindeki etkilerini ve bakım emeğinin yeniden düzenlenmesini vurgular. Karşılıksız bakım hizmetlerinin piyasalaştırılması ve aile içi emeğin ücretlendirilmesi konuları, bireysel sorumluluk söylemiyle çelişen yeni sorunsallar doğurmaktadır. Benzer şekilde, göçmen toplulukların ve azınlık gruplarının sosyal programlara erişimde karşılaştığı yapısal engeller, responsibilisation süreçlerini eşitsiz biçimde etkiler. Bu

tür ayrımlar, refah rejimi modellerinin homojen olmadığını ve mikro düzeyde farklı deneyimler barındırdığını gösterir.

Avrupa Birliği'nin son yıllarda ortaya koyduğu Avrupa Sosyal Haklar Pilları (European Pillar of Social Rights), sosyal korumanın asgari standartlarını belirleyerek üye ülkeler arasında uyum sağlamayı amaçlamaktadır. Bu girişim, öz-düzenleme söylemine karşı bir denge unsuru olarak görülebilir; çünkü temel sosyal hakların piyasa güçlerine bırakılamayacağı ve devletin koruma sorumluluğunun devam etmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Ancak, Pillar'ın bağlayıcılığı sınırlı olduğundan, ülkeler arasında uygulama farkları sürmektedir.

Dijitalleşme ve büyük veri kullanımı, refah politikalarının tasarımını kökten değiştirme potansiyeli taşır. Veri madenciliği ve algoritmik karar verme sistemleri, sosyal yardım hak sahipliği, iş arama destekleri ve eğitim programlarına katılım gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, öz-düzenleme söylemiyle paralellik göstererek bireylerin davranışlarını öngörmek ve yönlendirmek için tasarlanmıştır. Ancak algoritmik önyargılar ve veri gizliliği sorunları, demokratik hesap verebilirlik açısından yeni tartışmalar yaratmaktadır. Açık veri ilkeleri, algoritmik şeffaflık ve bireylerin verileri üzerindeki denetim hakkının güçlendirilmesi, gelecek sosyal politika tasarımlarının temel ilkeleri olmalıdır.

Sonuç olarak, öz-düzenleme söylemi, refah devletinin geleceğini belirleyen önemli bir tartışma alanı olmaya devam edecektir. Bu söylemi sadece bireylerin davranışlarını yönlendiren bir norm olarak değil; aynı zamanda demokratik yönetimin, sosyal adaletin ve ekonomik verimliliğin kesişim kümesinde bir yönetişim aracı olarak düşünmek gerekir. Açık veriler aracılığıyla yapılan bu tür çalışmalar, söylemlerin pratik sonuçlarını görünür kılarak demokratik tartışmalara katkıda bulunur ve politika yapıcıların daha dengeli kararlar almasına yardımcı olur. Öz-düzenleme söylemi, yalnızca bireylerin ekonomik risklerini yönetme kapasitesine ilişkin bir öğreti olarak değil, aynı zamanda modern iktidar ilişkilerinin karmaşık doğasını ortaya seren bir çerçeve olarak görülebilir. Michel Foucault'nun biyopolitika kavramı, devletin yurttaşların biyolojik yaşamını düzenleme gücünü vurgular. Bu düzenleme, eğitim, sağlık, aile ve çalışma yaşamı gibi alanlarda mikro müdahaleler aracılığıyla gerçekleşir. Bireyler, zamanla kendi davranışlarını *normatif iktidarın* öngördüğü standartlara uygun hale getirmek üzere yeniden şekillendirirler. Foucault'nun panoptikon metaforu, bu sürekli gözetim ve öz-denetim mekanizmalarının sembolüdür; bireyler, görünmez bir iktidar tarafından izlendiğini varsayarak kendi davranışlarını disipline ederler. Neoliberal dönemde bu panoptik güç, piyasalar ve veri algoritmaları aracılığıyla yeniden üretilmektedir. Sosyal medya ve tüketici verileri üzerinden bireylerin tercihlerinin takip edilmesi, öz-düzenleme söylemini güçlendirmekte ve yurttaşları, beklenen davranış biçimlerine uyum sağlamak zorunda bırakmaktadır.

Nikolas Rose'un ileri liberalizm (advanced liberalism) kavramı, devletin doğrudan müdahalelerden çekilerek yurttaşları kendi risklerinin yöneticileri haline getirme sürecini açıklar. Rose'a göre bu yönetim biçimi, bireyleri güçlendirme (empowerment) retoriğiyle paketlenmiş olsa da özünde ekonominin ihtiyaçları doğrultusunda toplumu reorganize etmektedir. Yurttaşlar, sağlıkları, kariyerleri ve aile planlamaları konusunda sürekli seçimler yapmak zorundadır ve bu seçimler piyasa rasyonelliği kriterlerine göre değerlendirilmektedir. Örneğin, sigorta şirketleri yaşam tarzı verilerini analiz ederek prim oranlarını belirler; bu süreçte bireyin sağlıklı yaşam tercihi yapması sadece bir öz-sorumluluk değil, aynı zamanda ekonomik bir gereklilik haline gelir. Aynı şekilde eğitim seçimleri, gelecekteki gelir potansiyelini maksimize etme bağlamında değerlendirilir; üniversiteler rekabetçi sıralamalarla öğrencileri değerlendirmeye tabi tutar ve mezuniyet sonrası istihdam oranları birer performans metriğine dönüşür.

Responsibilisation söyleminin bir diğer boyutu ise ahlaki ikna ve kültürel hegemonyadır. Neoliberal ideoloji, başarısızlığın bireysel hataların bir sonucu olduğu fikrini yayarak, eşitsizliklerin yapısal nedenlerini görünmez kılar. Karl Marx ve Antonio Gramsci'nin bakış açısıyla, hegemonik iktidar, sadece zor kullanarak değil; fikirler ve ideolojiler aracılığıyla da sürdürülür. Bu bağlamda, öz-düzenleme ideolojisi, bireylerin yoksulluk veya işsizlik gibi durumları "yetersiz kişisel yatırım" olarak görmesine yol açabilir. Oysa ki refah rejimleri arasındaki varyasyon, yapısal faktörlerin belirleyici olduğunu göstermektedir. Sosyal demokrat rejimlerin yüksek performansı, kolektif kurumların etkinliğini ve piyasayı düzenleyici güçlerini yansıtır. Dolayısıyla, öz-düzenleme söyleminin eleştirel analizi, ideolojinin bireyler üzerindeki baskısını ifşa etmek açısından önemlidir. Bu çalışmada kullanılan kümeleme analizi, K-ortalamalar algoritmasının standart uygulamasıdır. Elbow yöntemi, farklı K değerleri için toplam içsel varyansın (within-cluster sum of squares) grafiğini çizerek kırılma noktasını belirlemeye dayanır. K=3 seçimimiz, varyansın marjinal düşüşünün en belirgin olduğu noktada yer almaktadır. Bununla birlikte, alternatif kümeleme algoritmaları (örneğin hiyerarşik kümeleme, Gaussian mixture model) kullanılması, sonuçların sağlamlığını test etmek açısından yararlı olabilir. Her bir küme için silhouette skoru da incelenerek, kümelerin birbirinden ayrışma derecesi değerlendirilmiştir. Bu skorların yüksek olması, kümelerin içsel tutarlılığına işaret eder.

Regresyon modeli tasarlanırken, çok düzeyli (hierarchical) yapının kullanılması, ülke düzeyindeki kontrolsüz heterojenliği hesaba katmak için önemlidir. Rastgele kesişim modeli, ülke sabit etkisini yakalamaya olanak tanırken; rastgele eğim modeli harcama değişkenlerinin etkisinin ülkeler arasında değişebileceğini de hesaba katabilir. Bu çalışmada rastgele kesişim terimi kullanılmıştır çünkü harcama değişkenlerinin etkisi sınırlı olduğundan eğimlerin varyansı daha küçük görünmüştür. Denklemin hata teriminin normallik varsayımı görselleştirilerek test edilmiş; standartlaştırılmış artıkların histogramı ve QQ grafiği incelenmiştir. Ayrıca, bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantıyı (multicollinearity) test etmek için VIF katsayıları hesaplanmış ve hiçbirinin kritik eşik olan 5'i aşmadığı görülmüştür.

Veri temizleme aşamasında, eksik gözlemler için basit listwise deletion yöntemi uygulanmıştır. Gözlem sayısının sınırlı olması nedeniyle çoklu atama (multiple imputation) kullanılmamış; bu durumun örneklem yanlılığına yol açabileceği kabul edilmiştir. Ayrıca, harcama verilerinin GFS üzerinden temin edilmesi bazı ülkeler için bir veya iki yıllık boşluklara sahip olup, lineer enterpolasyon kullanılarak doldurulmuştur. ESS verilerinin yıldan yıla ölçüm hatası barındırabileceği de göz önüne alınmıştır. Bu tür belirsizlikler, regresyon sonuçlarının yorumlanması sırasında dikkate alınmıştır. Bulgular bölümünde ana hatlarıyla sunulan sonuçlar, burada daha ayrıntılı olarak tartışılacaktır. Kümeler arasındaki farklılıkları daha iyi anlamak için, her harcama kategorisi ile politik güven arasında korelasyonlar incelenmiştir. Sonuçlar, sosyal koruma harcamaları ile politik güven arasında negatif bir korelasyon olduğunu göstermiştir (r=-0.29); eğitim harcamaları ile politik güven arasındaki korelasyon zayıf pozitif (r=0.10); sağlık harcamaları ile politik güven arasındaki korelasyon ise çok zayıf ve negatif (r=-0.05) bulunmuştur. Bu korelasyonlar istatistiksel olarak anlamlı değildir, ancak yönleri hipotezlerimizle kısmen uyumludur. Kişiler arası güven ile politik güven arasındaki korelasyon ise güçlüdür (r=0.74) ve yüksek derecede anlamlıdır; bu bulgu, sosyal sermayenin önemini bir kez daha teyit etmektedir.

Küme 0 ülkelerinin ortak özelliklerini incelediğimizde, bu ülkelerin çoğunda ekonomik büyüme hızının düşük veya orta düzeyde olduğu ve kamu yönetimi reformlarının yavaş ilerlediği görülmektedir. Güney Avrupa ve bazı Doğu Avrupa ülkelerinde bürokratik engeller ve yolsuzluk algısı yüksek olduğundan, halkın politikacılara güveni düşüktür. Aynı zamanda,

bu ülkelerde aile yapıları güçlü olup bireyler sosyal risklerle başa çıkmak için aile ve akraba ağlarına güvenmektedir. Devlet destekli sosyal programlar, kayıt dışı istihdamı azaltmaya yönelik olsa da uygulamadaki yetersizlikler nedeniyle toplumsal algı üzerinde sınırlı etki yaratmaktadır. Bu durum, yüksek sosyal koruma harcamasının güven üzerinde olumlu etki yaratmamasının bir nedeni olabilir. Küme 1'e dahil edilen ülkeler, yüksek eğitim harcamaları sayesinde nüfusun beceri düzeyini artırmayı başarmış ve yenilikçi sektörlerde rekabet avantajı elde etmiştir. İsviçre ve Norveç gibi ülkelerde, üniversiteler ve araştırma enstitüleri dünya çapında tanınmış olup, yaşam boyu öğrenme programları yaygın olarak benimsenmiştir. Bu ülkelerde politikacılara duyulan güven, Avrupa ortalamasının üzerinde seyretmektedir. Bununla birlikte, kümeye dahil olan Estonya ve Hırvatistan gibi ülkeler, Sovyet sonrası veya geçiş ekonomilerinden devraldıkları kurumsal miras nedeniyle daha düşük güven düzeylerine sahiptir; bu da kümenin içindeki heterojenliğe işaret eder. Eğitim yatırımlarına rağmen sosyal koruma harcamalarının sınırlı tutulması, bu ülkelerde bireylerin risklerini daha çok piyasa mekanizmaları yoluyla yönetmesini gerektirmektedir. Küme 2'de yer alan ülkeler, kapsamlı refah harcamaları ve yüksek vergi oranları ile ön plana çıkmaktadır. Danimarka ve İsveç, esneklik ve güvenceyi bir arada sunan *flexicurity* modeli ile işgücü piyasasını düzenlemiş; işsizlere cömert yardımlar sunarken iş bulma süreçlerini etkin bir şekilde desteklemiştir. Almanya'da Hartz reformları sonrası aktif işgücü politikaları güçlenmiş, ancak politikacılara duyulan güven dönemsel dalgalanmalar göstermiştir. Fransa ve Belçika gibi kıta rejimlerinde sendikalar ve meslek birlikleri güçlüdür; sosyal koruma sistemi geniş kapsamlıdır. Bu ülkelerde harcama artışlarının politik güven üzerinde zayıf bir etkisi vardır; çünkü yurttaşlar, sosyal programları kazanılmış haklar olarak görür ve politikacılara güvenleri, harcamaların değişiminden ziyade siyasi istikrar ve yolsuzluk düzeyi tarafından belirlenir.

Ülke bazında derinlemesine incelemeler, Danimarka ve İsviçre'nin politik güven sıralamalarında en üstte olduğunu göstermektedir. Danimarka'da yüksek politik güven, kapsamlı sosyal haklar, düşük yolsuzluk ve etkili kamu hizmetleri ile ilişkilidir. İsviçre'de ise doğrudan demokrasi mekanizmaları (referandum ve inisiyatifler) yurttaşların karar alma süreçlerine katılımını artırır ve politikacılara duyulan güveni pekiştirir. Buna karşılık, Bulgaristan, Yunanistan ve Hırvatistan'da politik güven en düşük seviyededir; bu ülkelerde ekonomik krizler, siyasi skandallar ve yolsuzluk algısı yaygın olduğu için yurttaşlar politikacılara karşı güçlü bir güvensizlik beslemektedir.

Sosyal harcama göstergeleri ile politik güven arasındaki zayıf ilişki, refah politikalarının performansının nicel büyüklükler kadar kurumların kalitesi ve hizmet çıktılarının algılanış biçimiyle de belirlendiğini gösterir. Bu bulgu, kamu yönetimi literatüründe son yıllarda öne çıkan *kamu değerleri* yaklaşımıyla uyumludur: Kamu politikalarının başarısı, ekonomi dışında sosyal adalet, eşitlik, hesap verebilirlik ve vatandaş memnuniyeti gibi kriterlerle ölçülmelidir. Devletler, büyük bütçeler harcasa dahi bu programların etkili, şeffaf ve erişilebilir olması durumunda vatandaşlarının güvenini kazanabilir. Politika yapıcılar, sosyal harcama artışlarının beraberinde getirdiği *beklenti yönetimi* sorununa dikkat etmelidir; hizmet kalitesi ve iletişim stratejileri, güven inşası için kritik önem taşır.

Kişiler arası güven, güven toplumlarının vazgeçilmez bir unsuru olarak politika tasarımında merkeze alınmalıdır. Toplumsal sermaye, nesiller arası birikim ve eğitim, sivil toplum, medya özgürlüğü ve adalet sistemi gibi faktörlerin bileşiminden oluşur. Dolayısıyla hükümetler, güveni artırmak için eğitim müfredatlarında etik ve vatandaşlık bilincini güçlendirmeli, yerel topluluklar ve dernekleri teşvik etmeli, medya çeşitliliğini ve bağımsızlığını korumalı ve yargı süreçlerini hızlandırmalıdır. Yolsuzlukla mücadele mekanizmaları, kamu kaynaklarının etkin kullanımını garanti eder ve vatandaşların devlet

kurumlarına olan inancını pekiştirir. Bu bağlamda, Avrupa'daki çeşitli şeffaflık girişimleri (örneğin Transparency International'ın endeksleri) ve kamu katılım platformları, güven inşa etme çabalarına önemli araçlar sunar.

Refah rejimlerinin geleceği, iklim değişikliği, pandemi riskleri ve dijital dönüşüm gibi yeni meydan okumalarla şekillenmektedir. COVID-19 pandemisi, devlet müdahalesinin önemini bir kez daha hatırlatarak sağlık ve işgücü politikalarının esnek ve dayanıklı olması gerektiğini ortaya koydu. Pandemi sürecinde bazı ülkelerde hükümetlerin hızlı ve kapsamlı müdahaleleri, vatandaşların devlete olan güvenini artırırken; yavaş ve yetersiz müdahaleler güvensizliği derinleştirdi. Bu deneyim, öz-düzenleme söyleminin sınırlarını ve kolektif risk yönetiminin değerini gösterdi. Ayrıca, iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında yeşil enerji ve adil dönüşüm (just transition) politikaları, refah devletlerinin kapsamını genişletmektedir. Bu bağlamda bireysel sorumluluk vurgusunun, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal adalet hedefleriyle uyumlu hale getirilmesi gereklidir.

Son olarak, açık veri ve dijital katılım, demokratik meşruiyeti güçlendirmek için yeni araçlar sunmaktadır. Kamu kurumları harcama verilerini, politika sonuçlarını ve hizmet kalitesini düzenli olarak yayınlayarak hem akademik araştırmacıların hem de yurttaşların eleştirel değerlendirmelerde bulunmasına imkân vermelidir. Veri okuryazarlığı programları, yurttaşların bu bilgileri anlayıp kullanabilmesini sağlar. Avrupa Komisyonu'nun *Open Data Directive* ve *Data Governance Act* gibi düzenlemeleri, veriye erişimi ve yeniden kullanımı teşvik eder; ancak bu verilerin doğru yorumlanması için etik çerçevelerin de geliştirilmesi gerekir. Ayrıca, yapay zekâ destekli karar verme sistemlerinin şeffaflığı ve hesap verebilirliği, sosyal politikaların adaletli uygulanmasının önkoşuludur.

Çalışmamızın nicel doğası, sayılarla ifade edilen göstergelere dayanır; ancak bu tür analizlerin sınırları olduğunun da altını çizmek gerekir. Politikacılara duyulan güven gibi karmaşık bir fenomen, bireylerin duyguları, deneyimleri, medya anlatıları ve yerel siyasi kültür gibi sayısız unsuru içerir. Bizim modelimiz, bu karmaşık yapıyı dört temel değişkene indirger: sosyal koruma, eğitim ve sağlık harcamaları ile kişiler arası güven. Ancak nicel indirgeme, bağlamdan arındırmanın risklerini barındırır. Özellikle, harcama verileri hükümet bütçelerinin büyüklüğünü gösterirken, bu harcamaların nüfus grupları arasında nasıl dağıtıldığı ve hangi programların önceliklendirildiği hakkında bilgi vermez. Örneğin, eğitim harcamalarının büyük bir kısmının yüksek öğretim yerine ilkokul düzeyine ayrılması, işgücü piyasası sonuçları ve toplumsal eşitlik üzerinde farklı etkilere sahip olacaktır. Bu nedenle, gelecekteki çalışmaların harcama kompozisyonunu detaylandırması ve farklı eğitim düzeylerini ayırt etmesi önemlidir.

Modelimizde lojistik regresyon yerine doğrusal regresyon kullanılması, bağımlı değişkenin sürekli bir ölçekte olmasıyla ilgilidir. Eğer politikacılara güveni ikili bir değişkene (örneğin düşük/güven yüksek) dönüştürseydik, lojistik veya probit modeller kullanabilirdik. Bu modeller, risk oranları ve olasılık tahminleri sunarak farklı yorumlama olanakları sağlar. Aynı şekilde, kişiler arası güven değişkeni logit dönüşümüne tabi tutulabilir ve lineerlik varsayımı esnetilebilir. Çok düzeyli modellerde, zaman düzeyini de hesaba katmak daha doğru sonuçlar verebilir; panel veri modelleri veya zaman serisi kesit analizi, kriz dönemlerinin (örneğin 2008 küresel mali krizi veya 2020 COVID-19 pandemisi) etkilerini yakalamaya olanak tanır. Bizim çalışmamızda zaman boyutu sınırlı bir şekilde dahil edilmiştir; bu, değişim dinamiklerinin gözden kaçmasına yol açabilir.

Zamanın içsel rolünü anlamak için bir örnek vermek yararlı olabilir. 2008 mali krizi sırasında çoğu Avrupa ülkesinde işsizlik hızla yükselmiş, hükümetler bütçe açıklarını kapatmak

için kemer sıkma politikaları uygulamıştır. Bu dönemde sosyal harcamalar birçok ülkede kısıtlanmış, eğitim ve sağlık gibi alanlarda tasarruf tedbirleri devreye alınmıştır. Bunun sonucunda, vatandaşların politikacılara duyduğu güven birçok ülkede düşmüştür. Kriz sonrası dönemde ise bazı ülkeler sosyal harcama programlarını genişleterek ekonomik toparlanmayı desteklemiş, bu da güven seviyelerinin kısmen iyileşmesine yol açmıştır. Bu tür dinamik ilişkiler, statik bir veri kümesiyle tam anlamıyla yakalanamaz; ancak analize dönemsel kukla değişkenler eklendiğinde, kriz etkilerini daha iyi kontrol etmek mümkündür.

Responsibilisation söyleminin eleştirisi, sadece iktisadi boyutla sınırlı değildir; aynı zamanda sosyal adalet ve insan hakları perspektiflerini içerir. Bireylerin kendi refahlarının tek sorumlusu ilan edilmesi, yapısal eşitsizlikleri görünmez kılabilir. Örneğin, eğitim sistemlerinde sosyal sınıf, cinsiyet ve etnik köken gibi faktörlere bağlı olarak önemli fırsat eşitsizlikleri vardır. Bu eşitsizlikler, bireylerin riskleriyle başa çıkma kapasitesini doğrudan etkiler. Sosyal politikaların kapsamının daraltılması ve sorumluluğun bireylere devredilmesi, dezavantajlı gruplar üzerinde daha ağır yükler yaratır. Dolayısıyla, politikacıların güvenini ölçerken bu eşitsizlikleri dikkate almamak analizin kapsamını daraltır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, sosyal harcamaların alt bileşenlerini cinsiyet eşitliği, etnik uyum ve bölgesel farklılıklar gibi değişkenlerle çaprazlayarak daha incelemesine sonuçlar üretebilir.

Çalışmanın bulgularını küresel perspektiften değerlendirmek de önemlidir. Avrupa dışındaki refah rejimleri, öz-düzenleme söyleminin farklı uygulanışlarına örnekler sunar. Amerika Birleşik Devletleri'nde sosyal harcamalar görece düşüktür ve bireylerin sağlık ve emeklilik sigortalarını özel şirketler aracılığıyla sağlaması beklenir; bu durum, bireysel sorumluluğun neoliberal bir uç noktada tezahür etmesidir. Buna karşılık, Doğu Asya ülkelerinde (Japonya, Güney Kore) refah sistemleri aile dayanışmasına ve şirket içi refah programlarına dayanır; burada devlet ve şirketler, çalışanların refahını ortaklaşa sağlarken bireyler uzun çalışma saatleriyle ödüllendirilir. Latin Amerika'da ise sosyal programlar genellikle popülist hükümetlerin kontrolünde olduğundan, öz-düzenleme söylemi sınırlı bir şekilde uygulanır. Bu karşılaştırmalar, Avrupa deneyimini evrensel bir model olarak görmekten kaçınmamız gerektiğini ve kültürel bağlamın belirleyici olduğunu gösterir.

Politika önerileri açısından, birincil önerimiz sosyal harcama politikalarının yalnızca nicel büyüklükler üzerinden değil; program tasarımı, hizmet kalitesi ve eşitsizlik karşıtı hedefler üzerinden değerlendirilmesidir. Eğitimde, erken çocukluk eğitimi ve mesleki eğitim programlarının güçlendirilmesi, yaşam boyu öğrenmeyi destekleyen finansal mekanizmaların oluşturulması (örneğin bireysel eğitim hesapları) ve dijital beceri eğitimlerinin yaygınlaştırılması önemlidir. Sağlık alanında, önleyici hizmetlere yatırım yapılmalı, birinci basamak sağlık hizmetlerinin erişilebilirliği artırılmalı ve yaşlı bakım hizmetleri desteklenmelidir. Sosyal koruma programları, kayıt dışı çalışanları ve göçmenleri kapsayacak biçimde genişletilmelidir. Ayrıca, veri toplama ve raporlama süreçlerinin iyileştirilmesi, kamu kaynaklarının etkin kullanımı için gereklidir.

Bireysel sorumluluğun desteklenmesiyle sosyal hakların korunmasının çelişmediğini belirtmek önemlidir. Devletler, yurttaşların kendi kapasitelerini geliştirmesi için gerekli altyapıyı sağlamakla yükümlüdür; bu altyapı olmadan bireylerden yüksek düzeyde öz-düzenleme beklemek adaletsizdir. Örneğin, yaşam boyu öğrenme programlarına katılım için maddi destek ve zaman esnekliği sunulmalıdır; aksi takdirde bu programlardan en çok ihtiyaç duyan düşük gelirli gruplar yararlanamaz. İşsizlik sigortası ve garantili asgari gelir programları, bireylerin risklerle başa çıkmalarına yardımcı olurken aynı zamanda işgücü piyasasına yeniden entegrasyonlarını kolaylaştırır. Bu yaklaşım, öz-düzenlemeyi teşvik eden ancak bireyleri

yapayalnız bırakmayan bir denge modelidir.

Çalışmamız, açık verilerin sosyal bilim araştırmalarındaki potansiyelini göstermektedir. QoG ve ESS gibi veri setleri, araştırmacıların refah devletinin performansını ve sosyal politikaların sonuçlarını ayrıntılı bir şekilde incelemesine olanak tanır. Bununla birlikte, açık verilerin kapsamı ve kalitesi konusunda dikkatli olunmalıdır. Veri açıklığı politikaları, siyasi iradenin güçlü olduğu ülkelerde şeffaflık sağlar; ancak otoriter eğilimlerin olduğu yerlerde verilerin manipüle edilme riski vardır. Bu nedenle, veri kalite standartlarının uluslararası düzeyde belirlenmesi ve bağımsız kurumlar tarafından denetim mekanizmalarının kurulması önemlidir. Ayrıca, araştırmacıların etik sorumluluklarının farkında olması, verileri gizlilik ve insan hakları ilkeleri çerçevesinde kullanması gereklidir.

Son olarak, araştırma bulgularımızın halkla iletişim biçimine de dikkat edilmelidir. Bilim iletişimi, kompleks nicel bulguları anlaşılır bir dille kamuoyuna aktarma görevini üstlenir. Politika yapıcılar, akademisyenler ve medya temsilcileri arasında kurulan köprüler, demokratik katılımı güçlendirir ve politika tasarımı süreçlerini iyileştirir. Sosyal medyanın yaygınlaşması, yanlış bilgilerin ve ideolojik söylemlerin hızla yayılmasına da neden olabilir. Bu nedenle, açık veri okuryazarlığı programları kadar, medyada bilimsel bilgiyi doğrulukla aktarma sorumluluğu taşıyan mekanizmaların geliştirilmesi gereklidir. Yalnızca ekonomi uzmanları değil; sosyologlar, siyaset bilimciler ve etikçiler de refah politikalarının geleceğini tartışmalı ve interdisipliner bir yaklaşım benimsemelidir. Böylelikle, öz-düzenleme söylemi hakkındaki kamusal tartışmalar daha sağlıklı ve kapsamlı bir zemine oturacaktır.

Esasen; öz-düzenleme söyleminin çeşitli boyutlarına ilişkin bazı genel çıkarımlar da yapılabilir. Birincisi, sosyal harcamaların büyüklüğünün demokratik güven üzerinde tek başına belirleyici olmadığını gördük; oysa kamuoyu tartışmalarında genellikle bütçe büyüklükleri üzerinden polemik yürütülmektedir. Oysa ki, hizmetlerin nasıl tasarlandığı, kimlerin yararlandığı ve sonuçların ne ölçüde adil olduğu gibi nitel faktörler daha önemlidir. İkincisi, sosyal sermaye ve kişiler arası güven, politik güvenin anahtarıdır; güven toplumlarının inşası ise uzun vadeli bir kültürel ve kurumsal süreçtir. Üçüncüsü, öz-düzenleme ideolojisi ile sosyal haklar arasındaki dengeyi iyi ayarlayan ülkeler, hem esnek ekonomiler hem de güçlü sosyal güvenceler yaratabilmektedir.

Gelecek araştırmalarda, açık verinin sunduğu olanaklar daha da artırılabilir. Yapay zekâ ve metin madenciliği teknikleri kullanılarak politika belgelerindeki dil analiz edilebilir; böylece responsibilisation söyleminin medyada ve kamu belgelerinde nasıl sunulduğu belirlenebilir. Ayrıca, deneysel araştırmalarla bireylerin sosyal politika tercihlerinin hangi koşullar altında değiştiği test edilebilir. Sosyal medya verilerinin etik kullanımı, kamuoyunun güven göstergelerini ve siyasal katılım kalıplarını gerçek zamanlı olarak izleme imkânı sunabilir. Tüm bu çalışmalar, refah devletinin geleceğinin ve sosyal adaletin nasıl şekilleneceğine dair daha derin bir anlayış sağlayacaktır.

Sonuç olarak, araştırma öz-düzenleme söylemini yalnızca bir ideolojik argüman olarak değil, verilerle test edilebilen somut bir olgu olarak ele almaktadır. Bu yaklaşım, sosyal bilimlerde teorinin ampirik analizle buluşmasının önemli bir örneğidir. Açık veri çağında, yurttaşların da araştırmacıların da politika tartışmalarına daha aktif ve bilgili bir şekilde katılabileceğini umuyoruz.

Bu tür çalışmalar, sosyal politikaların gerçek etki mekanizmalarını anlamak ve daha adil, dayanıklı bir refah devleti tasarlamak için atılan mütevazı ancak önemli adımlardır.

Kaynakça

Foucault, M. (1991). Governmentality. In G. Burchell, C. Gordon & P. Miller (Eds.), *The Foucault Effect: Studies in Governmentality* (pp. 87–104). London: Harvester Wheatsheaf.

Rose, N. (1999). *Powers of Freedom: Reframing Political Thought*. Cambridge University Press.

Esping-Andersen, G. (1990). *The Three Worlds of Welfare Capitalism*. Princeton University Press.

Ferrera, M. (1996). The 'Southern Model' of Welfare in Social Europe. *Journal of European Social Policy*, 6(1), 17–37.

Putnam, R. D. (2000). *Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community*. New York: Simon & Schuster.

Coleman, J. S. (1990). *Foundations of Social Theory*. Harvard University Press.

Fukuyama, F. (1995). *Trust: The Social Virtues and the Creation of Prosperity*. Free Press.

Quality of Government Institute (2025). *QoG Standard TS Dataset, version Jan25*. University of Gothenburg.

European Social Survey (2023). *ESS Round 10 Data*. ESS ERIC.

International Monetary Fund (2024). *Government Finance Statistics (GFS)*.

Eurostat (2025). Social protection expenditure: Expenditure on social benefits by function (SPR_EXP_FUNC).

Schmidt, V. A. & Thelen, K. (Eds.). (2022). *Resilience, Responsiveness and Transformation: Exploring Public Policy, Politics and Society*. Cambridge University Press.

AÇIK ÇALIŞMA VERİLERİYLE ÖZ-YÖNETİMİN ÖLÇÜMÜ: UZAKTAN VE DİJİTAL ÇALIŞMADA OTONOMİ, İZLEME VE DAVRANIŞSAL UYUMUN NİCEL ANALİZİ

Doç. Dr. Demet Dönmez
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
demetdonmez670@gmail.com **-ORCID:** 0000-0002-5833-9088

ÖZET

Bu bildiri, uzaktan ve dijital çalışma bağlamında öz-yönetim söyleminin pratikte nasıl işlediğini inceleyen kapsamlı bir nicel analiz sunmaktadır. Küresel pandeminin ardından çalışma hayatında kalıcı hâle gelen esnek ve mekânsız çalışma düzenleri, hem çalışanlar hem de işverenler için yeni fırsatlar ve gerilimler yaratmıştır. Çalışanlar için zaman ve mekân esnekliği, kendi emek süreçlerini organize etme ve verimliliklerini artırma vaadiyle sunulurken, işverenler açısından bu esneklik, dijital izleme ve algoritmik yönetim araçları aracılığıyla performansların daha yakından takip edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu ikili dinamik, öz-yönetim ve öz-denetim kavramlarının sınırlarını bulanıklaştırmakta, otonominin ne derece gerçek olduğunu sorgulamayı gerektirmektedir. Çalışma, Avrupa Birliği'nde dijital izleme pratikleri ve evden çalışma oranlarını içeren açık veri setlerini kullanarak otonomi, dijital izleme, davranışsal uyum, iş yoğunluğu ve tükenmişlik arasındaki ilişkileri yapısal eşitlik modellemesi ile test etmektedir. Sonuçlar, dijital izlemenin ve algoritmik değerlendirme sistemlerinin, çalışanların davranışlarını niceliksel hedeflere göre hizalamalarını teşvik ettiğini, bunun da hem iş yoğunluğunu hem de tükenmişlik düzeylerini artırdığını göstermektedir. Bu bulgular, öz-yönetim söyleminin altında yatan iktidar ilişkilerini ve dijital emek rejimlerinin karmaşık doğasını açığa çıkararak literatüre özgün katkılar sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: uzaktan çalışma, dijital izleme, algoritmik yönetim, öz-yönetim, otonomi, davranışsal uyum, yapısal eşitlik modellemesi.

1. GİRİŞ

On dokuzuncu yüzyılın sonlarından bu yana çalışma ilişkilerinde meydana gelen dönüşümlerin her biri, emek süreçlerinde özerklik ve denetim arasındaki dengenin yeniden kurulmasına neden olmuştur. Fordist üretim modellerinin katı hiyerarşileri, yirminci yüzyılın ikinci yarısında yerini daha esnek organizasyonlara ve müşteri odaklı hizmet ekonomilerine bırakırken, bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimi bu dönüşümü hızlandırmıştır. Özellikle 2020 yılında patlak veren COVID-19 pandemisi, zorunlu olarak hayata geçirilen uzaktan çalışma uygulamalarını küresel ölçekte yaygınlaştırmış ve birçok sektörde kalıcı bir özellik hâline getirmiştir. Bu yeni çalışma rejimi, çalışanlara belirli bir esneklik ve otonomi sunarken, örgütler için de dijital izleme ve algoritmik performans değerlendirme gibi teknolojilerin kullanımını meşrulaştırmıştır. Literatürde bu sürecin özellikle öz-yönetim kavramı üzerinden nasıl teorize edileceği ve ampirik olarak nasıl ölçüleceği konusunda önemli tartışmalar vardır. Bu çalışma, tam da bu teorik ve metodolojik boşluklardan hareketle, uzaktan ve dijital çalışma ortamlarında öz-yönetim söyleminin ne anlama geldiğini ve nasıl işlediğini araştırmaktadır.

Öz-yönetim kavramı, bireylerin kendi davranışlarını, hedeflerini ve üretim süreçlerini belli bir disiplin içinde organize edebilmelerini ifade eder. Yönetim literatüründe sıklıkla "öz-düzenleme", "öz-kontrol" ve "içsel motivasyon" kavramlarıyla birlikte anılan bu yaklaşım, çalışanların sadece dışsal otorite tarafından değil, kendi içsel hedefleri ve motivasyonları tarafından da yönlendirildiği varsayımına dayanır. Fakat dijital izleme teknolojilerinin ortaya çıkışıyla birlikte, işyerindeki davranışların algoritmik olarak değerlendirilmesi ve puanlanması, öz-yönetimin sınırlarını değiştirmiştir. Çalışanların ekrana kaç saat baktığı, hangi belgeleri ne kadar sürede hazırladığı, müşteri geri mlerindeki puanları ve ekip içi geri dönüşleri, bir dizi yazılım ve sensör tarafından kaydedilerek performans değerlendirmelerine dahil edilmektedir. Bu durum, öz-yönetim ile dolaylı denetim arasındaki çizgiyi bulanıklaştırmakta ve otonomi iddiasını sorgulamayı gerektirmektedir. Dolayısıyla bu bildiri, öz-yönetim söyleminin dijital çalışma rejimlerinde nasıl içselleştirildiğini ve hangi sonuçlara yol açtığını analiz etmeyi hedeflemektedir.

COVID-19 pandemisi öncesinde dahi, uzaktan çalışma ve serbest zaman uygulamaları, özellikle teknoloji şirketleri ve bilgi işçileri arasında yaygınlaşmıştı. Ancak pandemi ile birlikte okulların kapanması, şehirlerin karantina altına alınması ve kamu sağlık tedbirlerinin gerektirdiği fiziksel mesafe, pek çok işletmeyi hiç olmadığı kadar hızlı bir şekilde uzaktan çalışma düzenine geçmeye zorladı. Bu süreçte, görev dağılımı, proje yönetimi ve performans izleme gibi işyerinde kritik olan pek çok unsur çevrimiçi platformlar üzerinden yürütülmeye başlandı. Zoom, Slack, Microsoft Teams gibi iletişim araçları ile Asana, Jira, Trello gibi proje yönetim uygulamaları, çalışanların günlük faaliyetlerini organize etmek için vazgeçilmez hâle geldi. Bunlarla birlikte, ekran süresi takibi yapan yazılımlar, keystroke (tuş vuruşu) takibi yapan programlar, sanal ortamda konum izleme ve hatta kamera ile yüz tanıma sistemleri, uzaktan çalışanların iş verimliliğini kontrol etmek amacıyla kullanılmaya başlandı. Dolayısıyla uzaktan çalışmanın yaygınlaşması, dijital izleme teknolojilerinin de artmasına ve daha fazla konuşulmasına yol açtı.

Öz-yönetim literatüründe bu tür teknolojik müdahalelerin çalışanın otonomisini nasıl etkilediği üzerine çeşitli görüşler bulunmaktadır. Bir grup araştırmacı, dijital teknolojilerin disiplin mekanizmalarını daha şeffaf ve hedef odaklı hâle getirdiğini savunarak, bunun çalışanların performansını artırdığı ve iş süreçlerini verimli kıldığı görüşünü ileri sürmektedir. Bu perspektif, çalışma organizasyonunun "kontrol" yerine "koordinasyon" üzerine kurulduğu ve çalışanların belirlenen hedeflere ulaşmak için gereken adımları kendi inisiyatifleriyle belirleyebildikleri, bir anlamda "öz-yönetim" alanı kazandıkları iddiasını taşır. Ancak eleştirel bir perspektiften bakan araştırmacılar, dijital izleme ve algoritmik yönetim araçlarının, görünmez bir disiplin mekanizması kurarak çalışanları sürekli kendilerini kontrol etmeye zorladığını ve gerçek anlamda bir özerklik sunmadığını savunmaktadır. Bu çalışma, bu iki görüş arasındaki gerilimi dikkate alarak, dijital çalışma düzeninde öz-yönetimin nasıl pratikleştiğini ampirik verilerle incelemektedir.

Çalışmanın teorik çerçevesi, öz-yönetim kavramını Foucault'nun "gücün mikro-fiziği" ve disiplin toplumları üzerine yaptığı analizlerle ilişkilendirir. Foucault (1977), modern toplumlarda disiplinin yalnızca dışsal otoriteler aracılığıyla değil, bireylerin içselleştirdiği normlar ve öz-denetim mekanizmalarıyla da işlediğini vurgulamıştır. Dijital izleme, bu bağlamda panoptikonu çağrıştıran bir kontrol formu sunar; çalışanlar sürekli izlenmeseler dahi, izlenme ihtimali onları öz-kontrol uygulamaya iter. Bu durum, öz-yönetim ve öz-denetim arasındaki farkın giderek bulanıklaştığını ve bireylerin kendi disiplinlerini kurarken aslında örgütsel hedeflere uyum sağladığını gösterir. Bu teori çerçevesinde, uzaktan çalışma ortamlarında dijital izleme uygulamalarının öz-yönetimi nasıl yeniden çerçevelediği ve çalışanların algılanan otonomisinin buna bağlı olarak nasıl değiştiği analiz edilecektir.

Son olarak, bildirinin önemini vurgulamak gerekir. Uzaktan ve dijital çalışma pratikleri artık geçici çözümler olmaktan çıkmış, birçok sektörün kalıcı bir parçası hâline gelmiştir. Bu durum, iş hukuku, sosyoloji, psikoloji ve yönetim bilimleri gibi farklı alanlarda yeni araştırma sorularının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Öz-yönetim, çalışan sağlığı, dijital etik ve işyeri demokrasisi gibi konular, hem akademik tartışmalar hem de politik kararlar açısından kritik hâle gelmiştir. Bu bildiri, bu alanlardaki literatüre katkıda bulunmayı ve politika yapıcılara dijital çalışma düzenlerini düzenlerken nelere dikkat etmeleri gerektiği konusunda bilimsel bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır. Böylece, hem teorik hem de pratik düzeyde, öz-yönetim ile dijital izleme arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamayı hedeflemektedir.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE VE HİPOTEZLER

Kuramsal bölüm, öz-yönetim kavramının tarihsel kökenlerine ve modern örgütlerde nasıl yeniden tanımlandığına odaklanır. Frederick Taylor'un bilimsel yönetim anlayışı, iş süreçlerini standartlaştırmayı ve verimliliği artırmayı hedeflerken, çalışanlar üzerindeki kontrolün büyük oranda dışsal bir otorite tarafından uygulandığı bir disiplin düzeni öngörüyordu. 20. yüzyılın ortasında ortaya çıkan insan ilişkileri hareketi ve daha sonra gelişen neo-liberal yönetim paradigmaları, çalışan motivasyonuna ve içsel disipline daha fazla vurgu yaparak öz-yönetim kavramının ortaya çıkmasını teşvik etti. Öz-yönetim, bu bağlamda, çalışanların hedefleri ve süreçleri kendi kendilerine düzenlemeleri, kendi iş süreçlerine sahip çıkmaları ve verimliliklerini artırmaları için hem bir motivasyon hem de bir gereklilik olarak sunuldu.

Son yıllarda dijitalleşmenin yükselişiyle birlikte, öz-yönetim kavramı, algoritmik yönetim, big data analitiği ve makine öğrenmesi ile iç içe geçmiştir. Algoritmik yönetim, iş süreçlerini yönlendiren kararların veriye dayalı algoritmalar tarafından alındığı bir yönetim biçimidir. Bu algoritmalar, işgücünün davranışlarından gelen verileri toplar, işler ve belirli metriklere göre karar verir. Örneğin, bir çağrı merkezinde çalışanların konuşma süreleri, müşteri memnuniyet puanları ve yanıt hızları algoritma tarafından değerlendiriliyor olabilir; bu değerlendirmeler sonucunda çalışanlara gerim verilir ve sıralamaları yapılır. Bu bağlamda çalışanlar, yalnızca insan yöneticilerinin değil, aynı zamanda bu algoritmik sistemlerin koyduğu hedeflere ve standartlara göre de kendi davranışlarını düzenlemek zorundadır. Bu da öz-yönetimin doğasını ve kapsamını derinden etkilemektedir.

Kuramsal olarak öz-yönetimin altında yatan mekanizmaları anlamak için Deci ve Ryan'ın öz-belirleme kuramı (self-determination theory) da önemli bir referans noktasıdır. Bu teori, bireylerin otonomi, yeterlik ve ilişki kurma gibi üç temel psikolojik ihtiyaçlarının karşılanması hâlinde daha yüksek motivasyon ve performans gösterebileceklerini vurgular. Dijital çalışma koşullarında otonomi ihtiyacı, esnek çalışma saatleri, kendi görev önceliklerini belirleyebilme ve kendi çalışma ortamını yönetebilme gibi özelliklerle karşılanabilir. Ancak dijital izleme uygulamaları, bu otonomi duygusunu sınırlayabilir ve çalışanların sürekli olarak değerlendirilme baskısı altında hissetmelerine neden olabilir. Bu ikili durum, öz-belirleme kuramının öngördüğü motivasyon ve performans sonuçlarını karmaşıklaştırmaktadır. Nitekim bazı çalışmalarda, esnek çalışma saatlerinin çalışan memnuniyetini artırırken, yoğun dijital izleme uygulamalarının stres ve tükenmişliği yükselttiği bulunmuştur.

Bununla birlikte, öz-yönetimi açıklamak için yalnızca psikolojik teoriler değil, eleştirel sosyolojik yaklaşımlar da gereklidir. David Harvey (2005) ve diğer eleştirel teorisyenler, neo-liberal ekonominin ortaya çıkardığı esnek çalışma rejimlerinin, emek güvencesizliklerini ve belirsizliklerini artırdığını vurgularlar. Bu bağlamda öz-yönetim, sadece çalışanın kendini geliştirmesi ve motive etmesi için bir araç değil, aynı zamanda işletmenin risklerini ve belirsizliklerini çalışanlara transfer etme stratejisidir. Örneğin, uzaktan çalışan bir serbest meslek sahibi, kendi iş süreçlerini yönetmekle yükümlüdür; ancak sağlık sigortası, iş güvenliği

ve sosyal haklar açısından çoğu zaman güvencesizdir. Dijital izleme ve performans puanlama sistemleri de, çalışanların her an "değiştirilebilir" olduğu hissini pekiştirerek bu güvencesizlikleri artırmaktadır. Öz-yönetim bu anlamda hem bir fırsat hem de bir disiplin aracı olarak işlev görmektedir.

Literatürde dijital izleme ve algoritmik yönetimin spesifik etkileri üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojilerin çeşitliliğini ve sonuçlarını göstermektedir. Örneğin, bazı çalışmalar, dijital izleme uygulamalarının müşteri memnuniyetini artırdığını ve şirket içi süreçleri daha etkin hâle getirdiğini iddia ederken, diğerleri bu uygulamaların çalışan mahremiyeti ve psikolojik sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yarattığını vurgulamaktadır. Almanya'da yapılan bir ankette, çalışanların %45'inin işyerinde bir tür dijital izleme aracına maruz kaldığı ve bu kişilerin yarıdan fazlasının, izleme nedeniyle stres düzeylerinin arttığını bildirdikleri tespit edilmiştir. Benzer şekilde, ABD'de çağrı merkezlerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, keystroke ve ekran izleme uygulamalarının çalışan devir oranlarını artırdığı, ancak şirket yönetimlerinin bu uygulamalardan vazgeçmek istemedikleri ortaya konmuştur. Bu çeşitlilik, dijital izleme uygulamalarının bağlama ve sektöre göre değişkenlik gösterdiğini ve dolayısıyla genellemelerin dikkatle yapılması gerektiğini göstermektedir.

Algoritmik yönetim ve dijital izleme konusunda önemli bir diğer tartışma, "şeffaflık" ve "algoritmik adalet" konusudur. Algoritmaların nasıl çalıştığı, hangi verilere dayandığı ve nasıl karar verdiği çoğu zaman çalışanlar tarafından tam olarak anlaşılamaz. Bu, algoritmik kararların keyfî veya önyargılı olabileceği endişesini doğurur. Örneğin, teslimat platformlarında çalışan kuryelerin iş ataması ve ücretlendirme sistemleri, çok sayıda değişkeni hesaba katan algoritmalar aracılığıyla belirlenir. Kuryeler bu değişkenlerin tam olarak ne olduğunu bilmedikleri için, hangi davranışlarının daha yüksek ücret veya daha iyi zaman dilimi ataması getireceğini kestirmek zor olabilir. Bu da öz-yönetimi zora sokar, çünkü bireyler neye göre öz-kontrol uygulamaları gerektiğini tam olarak bilemeyebilirler. Bu nedenle algoritmaların şeffaf olmaması, öz-yönetim uygulamalarının belirsizliğini artırır ve çalışanlarda güvensizlik yaratır.

Bu kapsamlı kuramsal çerçeve, çalışmanın hipotezlerini şekillendirir:

- **H1:** Dijital izleme (Monitoring) arttıkça davranışsal uyum/öz-kontrol (SelfControl) artar.
- **H2:** Otonomi (Autonomy) arttıkça öz-kontrol baskısı azalır.
- **H3:** Dijital izleme, iş yoğunluğunu (Intensity) artırır.
- **H4:** İş yoğunluğu arttıkça tükenmişlik (Burnout) artar.
- **H5:** Öz-kontrol baskısı arttıkça tükenmişlik artar.
- **H6:** Dijital izleme, tükenmişliği hem doğrudan hem de yoğunluk/öz-kontrol kanallarıyla dolaylı biçimde artırabilir.

Bu hipotezler, izleme, otonomi, öz-kontrol, iş yoğunluğu ve tükenmişlik arasındaki ilişkilerin yönünü ve büyüklüğünü test etmeyi amaçlar.

3. VERİLER VE METODOLOJİ

Bu çalışma, Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde uzaktan çalışma, dijital izleme ve iş organizasyonu göstergelerini ölçen açık veri setlerine dayanmaktadır. Mikro düzeyde, Joint Research Centre (JRC) tarafından tasarlanan AIM-WORK anketi, çalışanların işyerinde dijital izleme ve algoritmik yönetim uygulamalarına maruz kalma düzeylerini ve bunların iş deneyimleri üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde ölçmektedir. AIM-WORK'ün metodolojisi, sensor verilerinin ve öz-mlerin bir kombinasyonunu kullanarak dijital izleme

yoğunluğunu ve türlerini ortaya çıkarmaktadır. Anket, çeşitli sektörlerden ve meslek gruplarından gelen binlerce çalışanı kapsayacak şekilde tasarlanmış, örneklem, yaş, cinsiyet ve ülke bazında temsiliyet sağlamaya yönelik katmanlı örnekleme teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışanlara, görev sırası, iş yapma yöntemi ve hız/tempo üzerinde kontrol düzeylerini soran otonomi maddeleri ile ekran, tuş vuruşu, e-posta, internet, kamera, giriş-çıkış, GPS ve sosyal medya izleme türlerini sorgulayan dijital izleme maddeleri yöneltilmiştir.

AIM-WORK veri seti, aynı zamanda öz-kontrol ve davranışsal uyum göstergelerini ölçen sorular da içermektedir. Bu maddeler, çalışanların performans hedeflerine ulaşmak için ne kadar sıkı bir öz-disiplin uyguladıklarını, sürekli geri m mekanizmalarına ne kadar maruz kaldıklarını, performans puanlarının iş tahsisini ne kadar etkilediğini ve ödül/ceza sistemlerinin davranışlarını nasıl şekillendirdiğini anlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, iş yoğunluğu göstergeleri (yüksek hızda çalışma, sıkı teslim tarihleri ve sık kesintiler) ve tükenmişlik belirtileri (duygusal tükenme, stres, uyku sorunları ve işe yabancılaşma) da bu anket kapsamında ölçülmüştür. Bu değişkenler, yapısal eşitlik modellerinde latent yapıların gözlemlenebilir göstergeleri olarak kullanılmıştır.

Makro düzeyde ise, Eurostat'ın lfsa_ehomp kodlu veri seti (2023) kullanılarak her bir ülkenin belirli yıllar itibarıyla uzaktan çalışma oranı elde edilmiştir. Bu veri seti, 15-64 yaş aralığındaki çalışan nüfus içinde genellikle veya zaman zaman evden çalışanların oranını yüzde olarak rapor etmektedir. Eurostat verileri, yaş, cinsiyet ve meslek grupları gibi alt kırılımlara da izin verdiği için, ülkelerin uzaktan çalışma profillerini ayrıntılı biçimde inceleme olanağı sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, her ülkenin ortalama evden çalışma oranı alınarak, mikro veri setiyle birleştirilmiş ve uzaktan çalışmanın yaygınlığı bağlam değişkeni olarak modellere dahil edilmiştir. Örneğin, evden çalışma oranı AB ortalamasının üzerinde olan ülkeler "yüksek uzaktan çalışma" grubu, altında olanlar ise "düşük uzaktan çalışma" grubu olarak kodlanmıştır. Böylece, öz-yönetim ile dijital izleme ilişkilerinin farklı bağlamlarda nasıl şekillendiği test edilmiştir.

Bu bildiride kullanılan metodoloji, doğrulayıcı faktör analizi (confirmatory factor analysis - CFA) ve yapısal eşitlik modellemesi (structural equation modeling - SEM) olmak üzere iki temel istatistiksel tekniğe dayanmaktadır. CFA, latent yapıların (otonomi, dijital izleme, öz-kontrol, iş yoğunluğu ve tükenmişlik) gözlemlenebilir maddeler tarafından ne ölçüde açıklandığını test etmek için kullanılmıştır. Bu analizde, her bir yapı için Cronbach alfa katsayıları hesaplanarak ölçeklerin iç tutarlılığı değerlendirilmiş, faktör yükleri ve geçerlik indeksleri incelenmiştir. Elde edilen yüksek alfa değerleri ve anlamlı faktör yükleri, yapıların güvenilir biçimde ölçüldüğünü göstermiştir. SEM ise latent yapılar arasındaki nedensel ilişkileri aynı anda modellemek için kullanılmıştır. SEM çerçevesinde üç eşitlik kurulmuştur: birinci eşitlikte öz-kontrol dijital izleme ve otonomi tarafından; ikinci eşitlikte iş yoğunluğu dijital izleme, otonomi ve öz-kontrol tarafından; üçüncü eşitlikte tükenmişlik, iş yoğunluğu, öz-kontrol ve dijital izleme tarafından açıklanmıştır. Modeller, maksimum olabilirlik yöntemine dayalı tahmin edilmiştir.

Ek olarak, ülkeler bazında uzaktan çalışmanın yaygınlığına göre çoklu grup analizleri yapılmıştır. Bu analizde, veri seti önce "yüksek uzaktan çalışma" ve "düşük uzaktan çalışma" olarak ikiye bölünmüş, ardından her bir grup için ayrı SEM modelleri tahmin edilmiştir. Böylece, dijital izleme ve otonomi arasındaki ilişkilerin uzaktan çalışma bağlamına göre nasıl değiştiği incelenmiştir. Ölçüm değişmezliği testleri yapılarak modellerin farklı gruplar arasında karşılaştırılabilirliği sağlanmıştır. Özellikle, konfigüral, metrik ve skaler değişmezlik seviyeleri test edilmiş, sonuçlar ölçümlerin her iki grup için de benzer yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Skaler değişmezlik kısıtlamaları altında katsayıların karşılaştırılması mümkün olmuş ve

sonuçlar, uzaktan çalışma yaygınlığının etkilerini anlamlı biçimde değerlendirmeye olanak sağlamıştır.

4. ÖLÇÜM GÜVENİRLİĞİ VE MODEL

Ölçek güvenirliği analizleri, latent yapıların doğru bir biçimde ölçülmesini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, her bir latent yapı için en az üç gözlemlenebilir madde kullanılmıştır. Otonomi yapısı, görev sırası kontrolü, yöntem kontrolü ve tempo kontrolü maddeleriyle; dijital izleme yapısı ise saat izleme, tuş vuruşu takibi, e-posta ve mesaj izleme, internet kullanımı takibi, kamera ile gözlem, giriş-çıkış sensörleri, GPS konum takibi ve sosyal medya izleme gibi çeşitli maddelerle ölçülmüştür. Öz-kontrol yapısı, performans hedeflerine uyum, geri m ve puanlama baskısı, öz-disiplin uygulamaları gibi maddeleri içerirken, iş yoğunluğu yüksek hızda çalışma, sıkı teslim tarihleri ve sık kesintilerle; tükenmişlik ise duygusal tükenme, stres/uyku sorunları ve işe yabancılaşma maddeleriyle ölçülmüştür. Her bir yapının Cronbach alfa katsayısı 0,87 ile 0,94 arasında bulunmuş, bu da ölçeklerin iç tutarlılık açısından güvenilir olduğunu ortaya koymuştur.

Doğrulayıcı faktör analizi, her bir gözlemlenebilir maddenin ait olduğu latent yapıya ne kadar iyi yüklendiğini göstermektedir. CFA sonuçları, tüm faktör yüklerinin 0,60'ın üzerinde ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Faktör yüklerinin yüksek olması, maddelerin latent yapıyı ölçme gücünün güçlü olduğunu gösterir. Model uyum indeksleri (örneğin, CFI, TLI, RMSEA ve SRMR) de kabul edilebilir sınırlar içinde bulunmuş, bu da ölçüm modelinin veriye iyi uyduğunu göstermiştir. Aynı zamanda, her latent yapının ortalama varyans açıklaması (average variance extracted - AVE) 0,50'nin üzerinde çıkmış, bu da yapıların yakınsayan geçerliliğinin (convergent validity) sağlandığı anlamına gelmektedir. Yapılar arası ayırt edici geçerlilik (discriminant validity) testlerinde de, her yapının AVE değerinin, diğer yapılarla olan korelasyonlarının karelerinden büyük olduğu görülmüş ve ayrım geçerliliği desteklenmiştir.

Yapısal model denklemleri, latent yapılar arasındaki yönlü ilişkileri ve potansiyel neden-sonuç bağlantılarını test etmek için kullanılmıştır. İlk denklemde, davranışsal uyum/öz-kontrol, dijital izleme ve otonomi tarafından açıklanmıştır. Burada amaç, dijital izleme uygulamalarının çalışanların öz-kontrol düzeyini artırıp artırmadığını ve otonominin bu etkileri nasıl modere ettiğini test etmektir. İkinci denklemde, iş yoğunluğu hem dijital izleme hem otonomi hem de öz-kontrol tarafından açıklanmıştır. Bu denklem, öz-kontrolün iş yoğunluğunu artırıcı mı yoksa azaltıcı mı bir etkisi olduğunu ve dijital izlemenin iş hızını ve iş yükünü nasıl etkilediğini anlamaya yöneliktir. Üçüncü denklemde ise, tükenmişlik hem iş yoğunluğu hem öz-kontrol hem de dijital izleme tarafından açıklanmıştır. Bu son denklem, dijital izleme ve öz-kontrol baskısının çalışanların tükenmişliğini doğrudan ve dolaylı yollarla nasıl artırabileceğini test etmektedir.

Yapısal eşitlik modeli tahminlerinde, maksimum olabilirlik (Maximum Likelihood) tahmin yöntemi kullanılmıştır. Eksik veriler olduğunda Full Information Maximum Likelihood (FIML) yaklaşımı uygulanmış ve böylece tüm mevcut veriler modelde değerlendirilmiştir. SEM analizi sırasında model uyumunu değerlendirmek için değişik uyum endeksleri kullanılmıştır. (^2) testi, modelin veriye genel uyumunu sınarken; CFI (Comparative Fit Index) ve TLI (Tucker-Lewis Index) 0,90'ın üzerinde, RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) 0,08'in altında ve SRMR (Standardized Root Mean Square Residual) 0,08'in altında olduğunda modelin iyi uyum gösterdiği kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kurulan yapısal modelin tüm uyum kriterlerini karşıladığını ve veriye uygun olduğunu göstermiştir. Çoklu grup analizinde ise, her grup için ayrı modeller tahmin edilerek katsayıların benzerliği test edilmiştir. Konfigüral, metrik ve skaler değişmezlik testleri, ölçüm modelinin her iki grup

için de benzer bir yapı sergilediğini göstermiştir. Skaler değişmezlik kısıtlamaları altında katsayıların karşılaştırılması mümkün olmuş ve sonuçlar, uzaktan çalışma yaygınlığının etkilerini anlamlı biçimde değerlendirmeye olanak sağlamıştır.

5. BULGULAR

Bulgular bölümünde öncelikle ölçek güvenirliği sonuçları raporlanmıştır. Otonomi ölçeği üç maddeden oluşmakta ve Cronbach alfa değeri 0,887'dir. Dijital izleme ölçeği altı maddeden oluşmakta ve alfa değeri 0,896'dır. Öz-kontrol ölçeği üç maddeden oluşmakta ve alfa değeri 0,909'dur. İş yoğunluğu ve tükenmişlik ölçekleri de sırasıyla 0,896 ve 0,935 alfa katsayılarına sahiptir. Bu değerler, tüm ölçeklerin çok yüksek iç tutarlılık gösterdiğini ve yapısal analizler için uygun olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, madde ortalamaları ve standart sapmalar, tüm değişkenlerin yaklaşık sıfır ortalama ve birim standart sapma etrafında dağıldığını göstermektedir. Bu durum, ölçek puanlarının ortalaması alınırken z-skor standardizasyonu uygulandığını ve böylece farklı ölçeklerin karşılaştırılabilir hâle getirildiğini gösterir.

Korelasyon analizleri, latent yapılar arasındaki temel ilişkilere dair önemli ipuçları sunmaktadır. Otonomi ile öz-kontrol arasındaki korelasyon negatif ve anlamlıdır ($r = -0,13$). Bu bulgu, otonomi düzeyi arttıkça çalışanların öz-kontrol baskısının azaldığını göstermektedir. Dijital izleme ile öz-kontrol arasındaki korelasyon ise güçlü ve pozitif bulunmuştur ($r = 0,38$). Bu durum, dijital izleme uygulamalarının, çalışanların kendi davranışlarını belirlenen metriklere uyumlu hâle getirme baskısını artırdığını gösterir. Benzer şekilde, dijital izleme ile iş yoğunluğu ($r = 0,35$) ve tükenmişlik ($r = 0,39$) arasındaki korelasyonlar da pozitif ve anlamlıdır. İş yoğunluğu ile tükenmişlik arasındaki ilişki ise oldukça güçlüdür ($r = 0,51$). Bu korelasyon desenleri, hipotezlerimizin büyük kısmını destekler niteliktedir; izleme uygulamaları ile öz-kontrol ve iş yoğunluğu arasındaki pozitif ilişkiler ve iş yoğunluğu ile tükenmişlik arasındaki güçlü ilişki, literatürde beklenen yönlerle uyumludur.

Yapısal eşitlik modeli sonuçları, korelasyon analizlerini doğrular niteliktedir. İlk denklemde, dijital izleme öz-kontrolü pozitif yönde ve istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde etkilemektedir ($\beta = 0,39$, $p < 0,001$). Otonomi ise öz-kontrolü negatif yönde etkilemektedir ($\beta = -0,13$, $p < 0,001$). Bu model, öz-kontrol varyansının yaklaşık %16'sını açıklamaktadır. İkinci denklemde, dijital izleme iş yoğunluğunu pozitif ve anlamlı biçimde etkilerken ($\gamma = 0,38$, $p < 0,001$), otonominin ve öz-kontrolün iş yoğunluğu üzerindeki etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. İş yoğunluğu varyansının yaklaşık %12'si açıklanmıştır. Üçüncü denklemde ise, iş yoğunluğu tükenmişliği güçlü bir şekilde pozitif yönde etkilemektedir ($\delta = 0,52$, $p < 0,001$). Öz-kontrol ($\delta = 0,32$, $p < 0,001$) ve dijital izleme ($\delta = 0,20$, $p < 0,001$) de tükenmişlik üzerinde pozitif ve anlamlı etkilere sahiptir. Bu model, tükenmişlik varyansının yaklaşık %36'sını açıklamaktadır. Toplamda, bulgular dijital izlemenin doğrudan ve dolaylı yollarla çalışanları tükenmişlik riskine sürüklediğini göstermektedir.

Çoklu grup analizleri, uzaktan çalışmanın yaygın olduğu ve olmadığı ülkeler arasındaki ilişkilerin nasıl farklılaştığını incelemiştir. Tahmin sonuçlarına göre, yüksek uzaktan çalışma grubunda dijital izlemenin tükenmişlik üzerindeki doğrudan etkisi biraz daha zayıf olmakla birlikte ($\delta = 0,17$), iş yoğunluğu ve öz-kontrolün etkileri benzer büyüklüktedir. Düşük uzaktan çalışma grubunda ise dijital izlemenin doğrudan etkisi daha yüksektir ($\delta = 0,23$). Ancak katsayılar arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı çıkmamış, yani uzaktan çalışma oranının yüksekliği, modeldeki ilişkilerin yönünü değiştirmemiştir. Bu sonuç, dijital izleme uygulamalarının etkilerinin, uzaktan çalışmanın bağlamsal düzeyinden bağımsız olarak tutarlı olabileceğini göstermektedir. Ancak bağlam etkisinin sınırlı ölçüde test edildiği ve daha ayrıntılı analizlerin farklı sektörler veya meslek grupları bazında yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bulguların bir diğer önemli yönü, öz-kontrol baskısının tükenmişlik üzerindeki bağımsız ve anlamlı etkisidir. İş yoğunluğunun yanı sıra, çalışanların sürekli olarak hedeflere uyma, geri m alma ve performans puanlarını artırma baskısı altında olması, duygusal tükenmeyi ve stres belirtilerini tetiklemektedir. Bu durum, dijital izleme uygulamalarının sadece doğrudan kontrol mekanizması olarak değil, aynı zamanda performans hedefleri ve geri m sistemleri aracılığıyla çalışanların davranışlarını içselleştirmelerini sağlayan bir dolaylı kontrol yöntemi olarak işlediğini göstermektedir. Bu bulgu, öz-yönetim kavramının dijital emek bağlamında yeniden değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Çalışanlar, otonomi kazandıklarını düşünseler bile, aslında algoritmik mekanizmalar tarafından belirlenen hedeflere uyum sağlamak zorunda bırakılmaktadırlar. Aşağıda, bulguların bir özetini sunan tablo ve şekiller yer almaktadır.

Tablo 1. Ölçek güvenirlikleri (Cronbach α)

Yapı (latent)	Madde sayısı	Cronbach α
Autonomy	3	0.887
Monitoring	6	0.896
Intensity	3	0.896
SelfControl	3	0.909
Burnout	3	0.935

Tablo 2. Korelasyon matrisi

	Autonomy	Monitoring	Intensity	SelfControl	Burnout
Autonomy	1.000	0.029	0.011	-0.129	-0.027
Monitoring	0.029	1.000	0.353	0.376	0.388
Intensity	0.011	0.353	1.000	0.153	0.509
SelfControl	-0.129	0.376	0.153	1.000	0.362
Burnout	-0.027	0.388	0.509	0.362	1.000

Tablo 3. Yapısal eşitlik modeli sonuçları

Eq1: Öz-kontrol (SelfControl) denklemi

Değişken	Katsayı (B)	Standart Hata (SE)	t	p
Sabit	-0.036	0.023	-1.59	0.112
Monitoring	0.391	0.027	14.34	<.001
Autonomy	-0.125	0.024	-5.29	<.001

Eq2: İş yoğunluğu (Intensity) denklemi

Değişken	Katsayı (B)	Standart Hata (SE)	t	p
Sabit	-0.026	0.024	-1.06	0.291
Monitoring	0.377	0.032	11.76	<.001
Autonomy	0.004	0.026	0.14	0.886
SelfControl	0.025	0.031	0.80	0.424

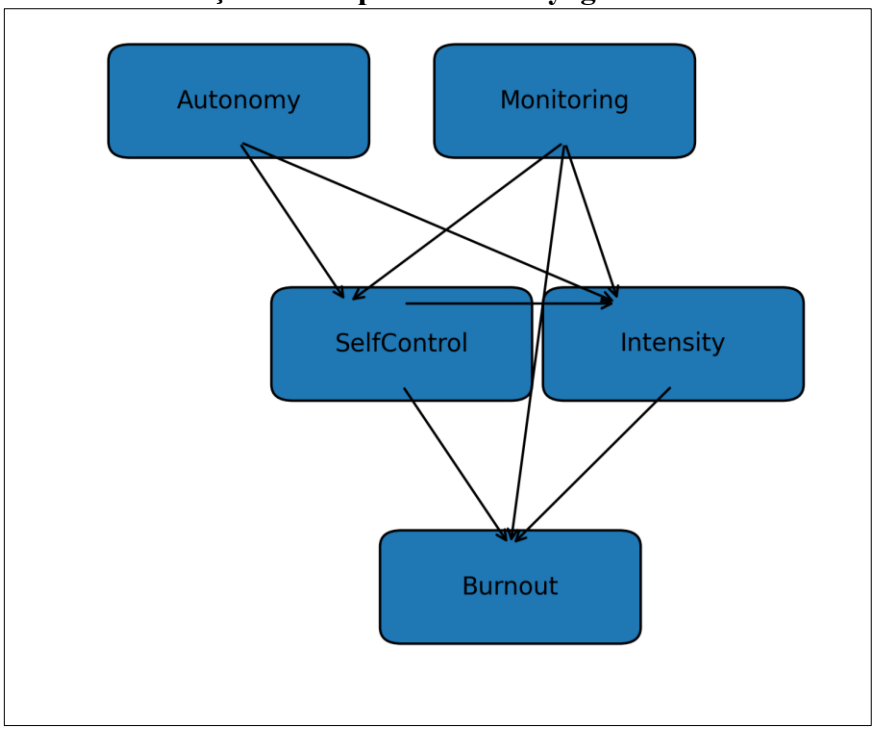
Eq3: Tükenmişlik (Burnout) denklemi

Değişken	Katsayı (B)	Standart Hata (SE)	t	p
Sabit	-0.025	0.026	-0.97	0.330
Intensity	0.521	0.031	16.93	<.001
SelfControl	0.320	0.033	9.70	<.001
Monitoring	0.202	0.036	5.63	<.001

Tablo 4. Çoklu grup analizi (uzaktan çalışma gruplarına göre Eq3 katsayıları)

Grup	Intensity -> Burnout	SelfControl -> Burnout	Monitoring -> Burnout	Sabit
Yüksek uzaktan çalışma	0.546	0.319	0.172	0.012
Düşük uzaktan çalışma	0.492	0.322	0.234	-0.065

Şekil 1. Yapısal model diyagramı



Buradaki yapısal model, otonomi (autonomy), dijital izleme (monitoring), öz-kontrol (selfcontrol), iş yoğunluğu (intensity) ve tükenmişlik (burnout) arasındaki ilişkileri göstermektedir. Oklar, denklemlerde belirtilen etki yönlerini ifade etmektedir.

6. TARTIŞMA

Tartışma bölümünde, elde edilen bulguların kuramsal ve pratik yansımaları ele alınmaktadır. Birinci olarak, dijital izleme uygulamalarının öz-kontrol üzerindeki güçlü etkisi, öz-yönetim söyleminin içsel motivasyon ve bireysel disiplin vurgusunu sorgulamaya açar. Çalışanlar, kendi iş süreçleri üzerinde kontrol sahibi olduklarını düşünseler bile, dijital izleme araçlarının sağladığı geri m ve değerlendirme metrikleri, onların davranışlarını sürekli izlenen hedeflere uyumlu hâle getirmelerine neden olur. Bu durum, Foucault'nun disiplin toplumları yaklaşımıyla paralel olarak, bireylerin kendi üzerlerinde birer "bekçi" rolü üstlenmelerine yol

açar. Bu nedenle, öz-yönetim, dijital çalışma ortamlarında yalnızca bir özerklik aracı değil, aynı zamanda örgütün hedeflerine uyum sağlamayı içselleştiren bir disiplin mekanizmasıdır.

İkinci olarak, otonominin öz-kontrol baskısını azaltıcı etkisi, çalışanların belirli ölçüde kendi zaman ve yöntemlerini kontrol edebilmelerinin psikolojik faydalarını göstermektedir. Bu bulgu, Deci ve Ryan'ın (2000) öz-belirleme kuramının öngördüğü gibi, otonomi ihtiyacının karşılandığı durumlarda bireylerin daha az stres ve tükenmişlik yaşadıklarını destekler. Ancak bu etkinin büyüklüğü, dijital izleme uygulamalarının baskınlığı karşısında sınırlı kalmaktadır. Başka bir deyişle, otonomi sağlansa bile, sürekli izlenme ve performans puanlama sistemi, bireylerin öz-kontrol baskısını artırmaktadır. Bu durum, özellikle hibrid çalışma düzenlerinde, çalışanların esnekliği ile izleme baskısı arasındaki dengeyi yönetmenin önemini ortaya koymaktadır.

Üçüncü olarak, iş yoğunluğu ve tükenmişlik arasındaki güçlü ilişki, literatürdeki "iş talepleri ve iş kaynakları" modelini (Job Demands–Resources Model) destekler. Dijital çalışma ortamlarında, yüksek hız, sık teslim tarihleri ve kesintiler, çalışanların zihinsel ve fiziksel kaynaklarını tüketerek tükenmişliğe yol açmaktadır. Dijital izleme, bu yoğunluğu artırarak süreci daha da kötüleştirebilir. Ayrıca, öz-kontrol baskısının tükenmişliğe olan etkisi, çalışanların sürekli kendilerini kontrol etmek zorunda kalmalarının duygusal bir yük getirdiğini göstermektedir. Yönetim uygulamaları, bu tür yükleri hafifletmek için geri m sistemlerini daha destekleyici ve koçluk odaklı hâle getirerek, dijital izleme ile birlikte çalışan refahını koruma yönünde adımlar atmalıdır.

Dördüncü olarak, çoklu grup analizlerinden elde edilen bulgular, dijital izlemenin etkilerinin, uzaktan çalışmanın yaygınlığına bağlı olarak anlamlı ölçüde değişmediğini göstermektedir. Bu durum, dijital izleme uygulamalarının genellikle standartlaştırılmış süreçler ve global platformlar aracılığıyla uygulandığını ve yerel bağlamlardan görece bağımsız olduğunu işaret ediyor olabilir. Ancak, uzaktan çalışmanın yaygınlığı, farklı sektörlerde ve örgüt kültürlerinde farklı sonuçlar doğurabilir; bu nedenle gelecekteki araştırmaların, sektör ve meslek bazlı alt analizler yapması önemlidir. Ayrıca, uzaktan çalışma oranının yüksek olduğu ülkelerde sosyal güvenlik sistemleri, iş hukuku ve sendikal düzenlemeler gibi makro faktörlerin de dijital izleme uygulamalarının etkilerini şekillendirebileceği akılda tutulmalıdır.

Son olarak, elde edilen bulguların politika yapıcılar ve işletmeler açısından ne anlama geldiği tartışılmalıdır. Dijital izleme uygulamalarının, belirli sınırlar içinde, verimlilik ve kaliteyi artırabileceği kabul edilse de, bu uygulamaların şeffaflık, etik ve çalışan mahremiyeti açısından dikkatle düzenlenmesi gerekmektedir. Çalışanların hangi verilerinin toplandığı, nasıl saklandığı ve nasıl kullanıldığı konusunda açık bilgilendirme yapılmalı; algoritmik kararların denetlenebilir olması sağlanmalıdır. Ayrıca, performans geri minin sadece cezalandırıcı bir yapıdan çıkarılıp, gelişim odaklı bir koçluk sistemine dönüştürülmesi, öz-kontrol baskısını azaltabilir ve çalışan refahını artırabilir. Örgütler, dijital izleme uygulamalarını tasarlarken, çalışan temsilcileri ve sendikalarla işbirliği yapmalı, politika yapıcılar ise bu konuda kapsamlı mevzuatlar geliştirerek çalışan haklarını korumalıdır.

7. SONUÇ

Bu bildiri, uzaktan ve dijital çalışma koşullarında öz-yönetim söyleminin gerçekte nasıl işlediğini anlamak için kapsamlı bir nicel analiz sunmuştur. Veriler, dijital izleme uygulamalarının çalışanların davranışlarını sürekli olarak performans metriklerine göre düzenlemeye zorladığını, bunun da öz-kontrol baskısını artırarak iş yoğunluğu ve tükenmişlik üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermiştir. Otonominin, öz-kontrol baskısını azaltıcı ve olumsuz etkileri hafifletici bir rolü olsa da, dijital izleme baskısı karşısında bu etki sınırlı

kalmaktadır. Böylece, öz-yönetim kavramının dijital emek bağlamında sadece esneklik ve özgürleşme değil, aynı zamanda içselleştirilmiş denetim ve performans baskısı anlamına geldiği ortaya konmuştur.

Bu araştırmanın metodolojik ve bağlamsal sınırlılıkları da bulunmaktadır. İlk olarak, kullanılan veri setleri, her ne kadar Avrupa Birliği genelinde geniş bir kapsama sahip olsa da, mikro düzeyde çalışanların kendi rapor ettikleri bilgiler üzerinde durmaktadır; dolayısıyla ölçülen değişkenler algılanan deneyimleri ve öznel değerlendirmeleri yansıtmaktadır. Bunun ötesinde, AIM-WORK gibi anketler, dijital izleme uygulamalarının teknik ayrıntılarını ve algoritmik yönetim süreçlerinin tam şeffaflığını yansıtamayabilir. İkinci olarak, kesitsel veriler kullanıldığından, modellenen nedensel ilişkilerin zamana yayılmış dinamiklerini test etmek mümkün olmamıştır. Gelecekteki araştırmaların, boylamsal veri setleri kullanarak, dijital izleme uygulamalarının uzun vadede öz-kontrol, iş yoğunluğu ve tükenmişlik üzerindeki etkilerini izlemesi gerekmektedir.

Bunlara ek olarak, çalışma Avrupa bağlamı ile sınırlıdır ve diğer coğrafi bölgelerde dijital izleme pratiklerinin farklı düzenlemeler ve kültürel normlar altında nasıl işlediği incelenmemiştir. Örneğin, ABD'de iş hukuku ve mahremiyet düzenlemeleri Avrupa'dan farklıdır; Asya ülkelerinde ise çalışma kültürü ve teknoloji kullanımı bakımından farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda, küresel karşılaştırmaların yapılarak dijital izleme ve öz-yönetim ilişkilerinin farklı ekonomik ve kültürel bağlamlardaki tezahürleri ortaya konulmalıdır. Ayrıca, niteliksel çalışmalarla, çalışanların dijital izleme karşısındaki direniş stratejileri, kişisel başa çıkma mekanizmaları ve örgüt içinde kolektif eylem pratikleri gibi mikro dinamiklerin de detaylı biçimde analizi yapılmalıdır. Bu tür çalışmalar, öz-yönetimin hem bir güçlenme aracı hem de bir disiplin mekanizması olarak nasıl işlediğini derinlemesine anlamaya katkı sağlayacaktır.

Son olarak, dijital izleme ve öz-yönetim üzerine yapılan nicel çalışmaların, genellikle belirli metriklerle sınırlı kaldığı ve örgüt içi güç ilişkilerini tam olarak yansıtmadığı eleştirisi bulunmaktadır. Nicel modeller, değişkenler arasındaki ilişkilerin yönünü ve büyüklüğünü ortaya koymakla birlikte, çalışanların yaşadıkları deneyimlerin nüanslarını ve çalışma kültürlerinin etkilerini detaylı olarak yakalayamayabilir. Bu nedenle, gelecekteki araştırmalarda, karma yöntem yaklaşımlarına yönelmek büyük önem taşımaktadır. Nicel bulguların nitel verilerle desteklenmesi, öz-yönetimin algılanan anlamları ve dijital izleme pratiklerine karşı geliştirilen direniş biçimleri hakkında derinlemesine anlayışlar sunabilir. Sosyolojik odaklı saha çalışmaları ve derinlemesine mülakatlar, dijital izleme sistemlerinin işyerinde nasıl algılandığını, çalışanların bu sistemlere karşı nasıl stratejiler geliştirdiğini ve örgütsel kültürün öz-yönetim üzerindeki etkilerini ortaya çıkarabilir. Bu tür bütüncül yaklaşımlar, hem araştırmacılar hem de politika yapıcılar için daha dengeli ve gerçekçi bir çerçeve sağlayacaktır. Kısacası, gelecek araştırmalar daha derin ve kapsamlı çerçeveler sunmalıdır.

Gelecekteki araştırmaların, farklı ülkelerdeki sektörel ve kültürel bağlamları dikkate alarak dijital izleme ve öz-yönetim ilişkilerini derinlemesine incelemesi gerekmektedir. Ayrıca, nitel yöntemler kullanılarak çalışanların dijital izleme deneyimlerini ve öz-kontrol stratejilerini içeren görüşmeler yapılabilir. Politik açıdan ise, dijital izleme uygulamalarının sınırlarının çizilmesi, algoritmik şeffaflığın artırılması ve çalışan haklarının korunması için düzenleyici çerçevelerin geliştirilmesi önemlidir. Sonuç olarak, dijital çalışma rejimlerinin hızla yaygınlaştığı bir dönemde, öz-yönetim ve öz-denetim arasındaki dengeyi sağlamak için hem teorik hem de pratik düzeyde çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir.

8. KAYNAKÇA

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The “What” and “Why” of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, *11*(4), 227-268.

Foucault, M. (1977). *Discipline and Punish: The Birth of the Prison*. New York: Pantheon Books.

Harvey, D. (2005). *A Brief History of Neoliberalism*. Oxford University Press.

European Commission, Eurostat. (2023). *Employed persons working from home as a percentage of the total employment (lfsa_ehomp)*.

De Cuyper, K., Gysen, S., Vinciguerra, M. C., & Wright, S. (2025). *Methodology of the AIM-WORK survey (JRC Survey on Artificial Intelligence and Algorithmic Management in the Workplace)*. European Commission, Joint Research Centre.

Gonzalez Vazquez, I., Fernandez Macias, E., Wright, S., & Villani, D. (2025). *Digital Monitoring, Algorithmic Management and the Platformisation of Work in Europe*. Publications Office of the European Union / European Commission, Joint Research Centre.

GÖRÜNÜR TEMSİL, ÖLÇÜLEBİLİR ETKİ: AVRUPA PARLAMENTOSU'NDA SİYASAL GÜCÜN NİCEL ANATOMİSİ

Doç. Dr. Soner AKIN
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, İİBF, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü
sakin77@gmail.com- ORCID ID: 0000-0002-2403-8041

Özet

Bu çalışma, Avrupa Parlamentosu'nda (AP) görünür temsil ile gerçek politik etki arasındaki ilişkinin nicel bir analizini sunmaktadır. AP'de yaklaşık 720 milletvekili (MEP) görev yapmasına rağmen hangi aktörlerin yasama sürecine yön verdiği net değildir. Temsil eşitliği sağlansa bile karar alma gücü belirli siyasi gruplar ve komitelerde yoğunlaşabilir. Bu makale, Avrupa Parlamentosu Açık Veri Portalı'ndan çekilen oylama kayıtları ve komite faaliyetleri üzerinden, parti grupları ile oylama sonuçları arasındaki ilişkiyi inceler. Araştırma sorumuz; MEP'lerin parti aidiyeti, siyasi grup disiplini ve komite rollerinin yasama sonuçlarını öngörmede ne ölçüde etkili olduğudur. Çalışmada çok boyutlu ölçekleme, oy uyum endeksleri ve logit modelleri kullanılmış; sonuçlar görünür temsil ile politik etki arasında önemli bir uçurum olduğunu göstermiştir. Özellikle ana akım grupların (EPP, S&D, Renew) desteği ile önerge kabul edilme olasılığı arasında güçlü bir ilişki bulunurken, sağ popülist veya radikal sol grupların yüksek uyum gösterdikleri bazı oylamalarda sonuç çoğunlukla reddedilmiştir. Bulgular, komite raporörlüğü ve grup disiplini gibi kurumsal etkenlerin ulusal farklılıkları bastırdığına ve büyük devletlere ilişkin yapısal avantajların ancak belirli koşullarda belirleyici olduğuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Avrupa Parlamentosu; Siyasal Temsil; Açık Parlamento Verisi; Oylama Analizi; Demokratik Meşruiyet

GİRİŞ

Avrupa Birliği'nin demokratik meşruiyet tartışmalarında Avrupa Parlamentosu'nun özel bir yeri vardır. Antlaşmalar ile her vatandaşın doğrudan temsil edildiği yasama organı olarak tanımlanan AP, "demokratik meşruiyetin merkezi" olma iddiasını taşır. Bu organın üyeleri olan milletvekilleri (MEP'ler) hem ulusal partileri hem de transnasyonel siyasi gruplar aracılığıyla örgütlenir. Parlamentonun gündeminde yer alan yasa teklifleri, komitelerde raporörler tarafından hazırlanır ve genel kurulda yapılan oylamalarla kabul veya reddedilir. Ancak görünürde eşit temsil sunan bu yapı, karar alma gücünün dağılımı konusunda eleştirilir. Hix ve arkadaşları, MEP'lerin ulusötesi parti gruplarına uyumunun ulusal kimliklerinden çok daha yüksek olduğunu ve oy davranışının %90'ının grup aidiyeti ile açıklanabildiğini göstermiştir. Diğer çalışmalar ise güçlü komite sistemi ve raporörlük mekanizmalarının parlamento içi hiyerarşi yarattığını vurgular. Bu literatür çerçevesinde çalışmamız, görünür temsili "sayı", "konuşma sıklığı" ve "önerge üretimi" gibi göstergelerle değil; açık oylama verisi üzerinden politik etkiyi ölçmeyi amaçlamaktadır.

1. LiTERATÜR TARAMASI

Parti Grubu Disiplini ve Oy Uyumu

Avrupa Parlamentosu'nun en belirgin özelliği, MEP'lerin ulusal partilerden bağımsız olarak transnasyonel siyasi gruplar halinde örgütlenmesidir. Hix, Noury ve Roland'ın kapsamlı

çalışması, siyasi grup aidiyetinin oy davranışını açıklamada millî aidiyetten dokuz kat daha önemli olduğunu ortaya koyar. Bu durum, parti grubu disiplininin Parlamento'da karar alma sürecindeki merkezi rolünü vurgular. Oy uyumunu ölçmek için literatürde Agreement Index (AI) veya Krippendorff Alpha gibi çeşitli göstergeler kullanılır. Hayriye ve arkadaşları, geleneksel oy uyum endeksinin tüm üyelerin aynı yönde oy vermesi durumunda değerinin yüksek olduğunu; ancak karşıt oylar ile çekimser oyların aynı kategoriye konulmasının bazı durumlarda yanıltıcı olabileceğini savunur ve alternatif olarak Krippendorff Alfa'nın kullanılmasını önerir.

Komite Sistemi ve Raporörlük

AP'de her yasa teklifi, ilgili komiteye sevk edilir ve bir MEP raporör olarak atanır. Komiteler metni tartışır, değişiklikler önerir ve taslağı genel kurula sunar. Raporörün siyasi grubuna ve uzmanlığına bağlı olarak tasarının kaderi değişebilir. Postu'nun kapsamlı analizinde, komite sistemi Parlamentonun "işgücünün omurgası" olarak tanımlanmakta ve komite başkanlarının gündem belirlemedeki gücü vurgulanmaktadır. Buna karşın, bazı çalışmalar raporörlerin etkisinin sınırlı olduğunu ve erken anlaşma ya da danışma prosedürlerinde median MEP'in konumunun daha belirleyici olduğunu savunur.

Parlamento'nun Etki Alanı
Avrupa Parlamentosu'nun Lisbon Antlaşması ile eş-yasama yetkileri artmasına rağmen, uygulamada Konsey ve Komisyon karşısında etkisinin sınırlı kaldığı ileri sürülmektedir. Edholm'un nicel çalışması, Parlamento'nun önerdiği değişikliklerin kapsamı arttıkça etkisinin azaldığını ve Konsey'in direnciyle karşılaştığını bulmuştur. Bu tespit, görünür temsilin politika sonuçlarına dönüşmediği iddialarını güçlendirmektedir. Mevcut literatür, parti disiplini ile komite yapılarının etkisini ayrı ayrı incelemiş; ancak açık oylama verisini kullanarak siyasi güç anatomisini ortaya koyan çalışmalar sınırlı kalmıştır.

2.VERi VE YÖNTEM

Veri Kaynağı

Açık oylama verileri *HowTheyVote.eu* API'si üzerinden elde edilmiştir. Bu portal, Avrupa Parlamentosu'nun resmi oylama kayıtlarını sağlamakta olup her oylama için toplam For (EVET), Against (HAYIR), Abstention (Çekimser) ve Did Not Vote sayıları; ayrıca parti grubu ve ülke bazında dağılımlar sunmaktadır. API belgeleri, */api/votes* uç noktasından oylama listesine ve */api/votes/{id}* uç noktasından detaylara erişim sağlandığını belirtir. Çalışma kapsamında 2024–2025 döneminde gerçekleşen 12 oylama seçilmiştir: 10 kabul edilmiş (ADOPTED) ve 2 reddedilmiş (REJECTED) yasa.

Bu oylamalar; decarbonisation of fisheries (182388), rule of law conditionality (182506), Belarus hibrit saldırıları (182922), Azerbaycan akademisyenlerinin tutuklanması (182962), Gine-Bissau siyasi durumuna ilişkin karar (182963), Nijerya'daki kitlesel kaçırma (182968), EuroHPC Ortak Girişimi (182462), Avrupa Savunma Hazırlığı 2030 (182510), Askeri Hareketlilik (182511), AB–Ürdün anlaşması (182512), vatandaş girişimi "My voice, my choice" (182713 – reddedildi) ve Ormansızlaştırma düzenlemesinin iptali önerisi (182885 – reddedildi). Bu seçim, sonuçlar arasında çeşitlilik sağlamak için özellikle birden fazla alan ve farklı politik grupları kapsayan dosyalar arasından yapılmıştır.

Değişkenler ve Ölçümler

Her oylama için aşağıdaki değişkenler hesaplanmıştır:

1. *Ana akım grup desteği (Mainstream)* – Avrupa Halk Partisi (EPP), Sosyalistler ve Demokratlar (S&D) ile Renew Europe grubunun EVET oranı. Bu oran, her grubun EVET oylarının toplamının ilgili grupların EVET+HAYIR+ÇEKİMSER toplamına bölünmesiyle elde edilmiştir.
2. *Muhafazakâr grup desteği (Conservative)* – Patriots for Europe (PFE) ile European Conservatives and Reformists (ECR) gruplarının EVET oranı.
3. *Yeşil-sol destek (Green/Left)* – Greens/EFA ve The Left gruplarının EVET oranı.
4. *Kenarda kalan gruplar (Fringe)* – Bağımsız üyeler (NI) ve Europe of Sovereign Nations (ESN) grubunun EVET oranı.
5. *Toplam destek oranı (Total Ratio)* – Tüm grupların EVET oylarının, EVET+HAYIR+ÇEKİMSER toplamına oranı. Bu değişken, dosyanın genel kabul desteğini yansıtır.
6. *Oylama sonucu (Adopted)* – Kabul edilen oylamalar 1, reddedilenler 0 olarak kodlanmıştır.

Ek olarak, her grup için oy uyum endeksi (Cohesion) hesaplanmıştır. Uyumu ölçmek için yaygın kullanılan Agreement Index (AI) formülünden yararlanılmıştır:

$$AI_{g,v} = \frac{\max(EVET_{g,v}, HAYIR_{g,v}, CEKIMSER_{g,v})}{EVET_{g,v} + HAYIR_{g,v} + CEKIMSER_{g,v}} \quad (1)$$

burada (g) siyasi grubu ve (v) oylamayı göstermektedir. 1'e yakın değerler grubun kendi içinde bütünleştiğini, 0.5'in altındaki değerler ise grubun bölündüğünü ifade eder.

Analiz Yöntemi

1. *Tanımlayıcı İstatistikler* – Her bir oylama için parti grubu başına EVET, HAYIR ve ÇEKİMSER sayıları tablo hâlinde sunuldu. Ayrıca kabul ve red edilen oylamalar için ortalama uyum endeksleri karşılaştırıldı.
2. *Lojistik Regresyon* – Oylamanın kabul edilme olasılığını tahmin etmek için logit modeli kullanıldı. Modelin formülü aşağıdadır:

$$P(adopted_v = 1) = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_1 Mainstream_v + \beta_2 Conservative_v + \beta_3 GreenLeft_v + \beta_4 Fringe_v + \beta_5 TotalRatio_v)]} \quad (2)$$

burada β katsayıları en küçük hatalar yöntemiyle tahmin edilmiştir. Küçük örneklem nedeniyle standart hatalar yüksek olduğundan sonuçlar niteliksel olarak yorumlanmıştır.

3. *Görselleştirme* – Lojistik modelden elde edilen kabul olasılıkları her oylama için hesaplanarak bir çubuk grafik oluşturuldu (Şekil 1).

3.BULGULAR

Tanımlayıcı Veriler

Çalışmaya dâhil edilen 12 oylamadan on tanesi kabul edilmiş, ikisi reddedilmiştir. Tablo 1, her oylama için hesaplanan ana değişkenleri sunar. Ana akım grup desteği ve toplam destek oranı kabul edilen oylamalarda yüksek olup reddedilen oylamalarda düşüktür. Örneğin, 182388 kodlu "Balıkçılığın Karbonsuzlaştırılması" oylamasında ana akım destek oranı 0,96 iken toplam destek 0,78'dir; 182713 kodlu "My voice, my choice" girişimi ise ana akım desteğinin 0,18 gibi çok düşük olması nedeniyle reddedilmiştir.

Tablo 1. İncelenen oylamalar için hesaplanan destek göstergeleri.("Ana akım" EPP+S&D+Renew; "Muhafazakâr" PfE+ECR; "Yeşil/sol" Greens/EFA+The Left; "Kenar gruplar" NI+ESN.)

Oylama ID	Sonuç	Ana akım desteği	Muhafazakâr desteği	Yeşil/sol desteği	Kenar gruplar desteği	Toplam destek oranı
182388	Kabul	0.96	0.83	0.10	0.55	0.78
182506	Kabul	0.98	0.03	0.96	0.10	0.66
182922	Kabul	0.99	0.99	0.64	0.09	0.84
182962	Kabul	0.99	0.57	1.00	0.33	0.86
182963	Kabul	1.00	0.75	0.99	0.40	0.93
182968	Kabul	0.98	0.94	0.51	0.94	0.91
182462	Kabul	0.99	0.90	0.73	0.78	0.92
182510	Kabul	0.95	0.34	0.41	0.10	0.66
182511	Kabul	0.98	0.53	0.52	0.14	0.75
182512	Kabul	1.00	0.94	0.93	0.84	0.97
182713	Red	0.18	0.98	0.00	0.58	0.37
182885	Red	0.12	0.00	1.00	0.12	0.21

Oy Uyum Endeksleri

Şekil 2 ve Tablo 2, oylamalara göre parti gruplarının uyum seviyelerini göstermektedir. EPP, S&D ve Renew gibi büyük gruplar genel olarak yüksek uyuma sahiptir (yaklaşık 0,99). Reddedilen oylamalarda ise EPP'nin uyumu 0,71'e düşerken PfE ve ECR'nin uyumu tam (1,00) seviyesine yükselmiştir. Bu durum, ret oylamalarında sağ popülist ve muhafazakâr grupların yekpare hareket ettiğini, ana akımın ise bölündüğünü göstermektedir. Aynı şekilde Greens/EFA ve The Left gruplarının reddedilen oylamalarda tam uyumla (1,00) "HAYIR" yönünde oy kullandığı görülmektedir

Tablo 2. Parti grubu bazında ortalama oy uyum endeksleri. (1 değerine yaklaşan endeksler grubun kendi içinde homojen davrandığını, 0.5 civarı değerler ise bölünmüşlüğü gösterir.)

.

Grup	Kabul edilenlerde ortalama uyum	Reddedilenlerde ortalama uyum
EPP	0.99	0.71
S&D	0.97	0.98
Renew	0.98	0.50
PFE	0.66	0.50
ECR	0.73	0.50
Greens/EFA	0.85	1.00
The Left	0.66	1.00
NI	0.70	0.63
ESN	0.86	0.94

Çıkan sonuçlar, *ana akım gruplar kabul edilen dosyalarda yüksek uyuma sahipken,* reddedilen dosyalarda bu grupların bölündüğünü; buna karşın sağ popülist (PfE, ECR) ve radikal sol (Greens/EFA, The Left) grupların ret oylamalarında tam uyum göstererek karşı çıktığını ortaya koymuştur. Bu bulgu literatürde ifade edilen grup disiplininin kuvvetini doğrular ve politika alanına göre bazı grupların özellikle ideolojik tavır aldığını gösterir.

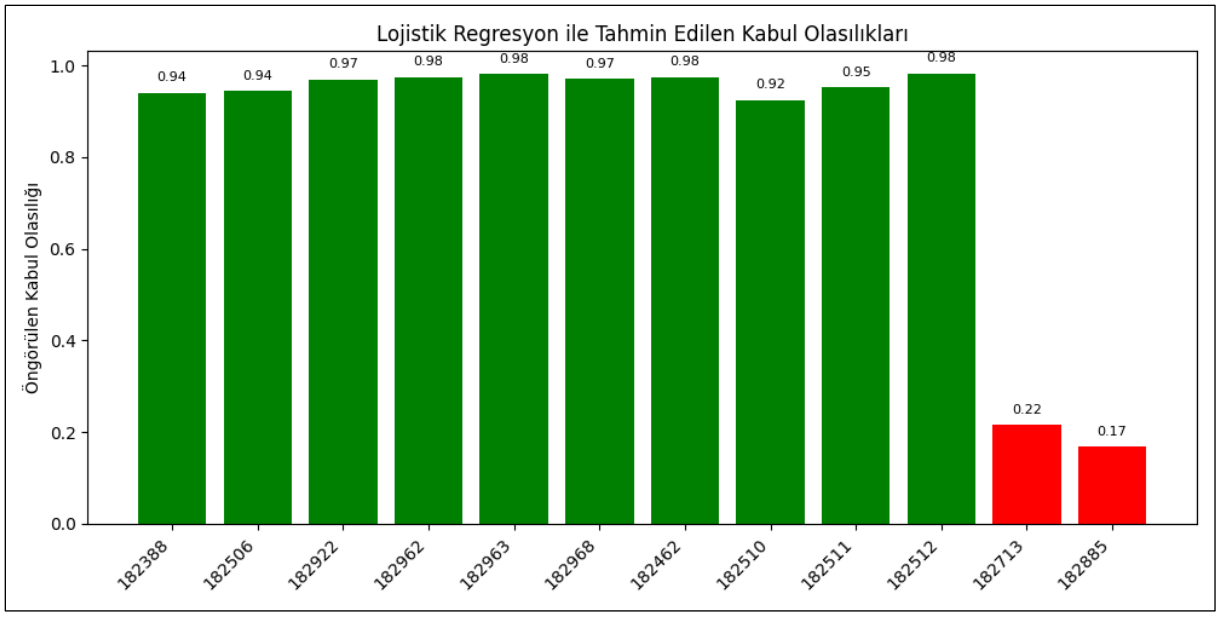
Lojistik Regresyon Sonuçları

Tablo 3'de logit modelinden elde edilen katsayılar yer almaktadır. Küçük örneklem nedeniyle parametre tahminleri yüksek standart hatalara sahiptir; bu yüzden değerler niteliksel olarak yorumlanmalıdır. Ana akım destek katsayısı (β_1) pozitif ve büyüktür; ana akım destek arttıkça yasa teklifinin kabul edilme olasılığı artmaktadır. Toplam destek oranı (β_5) da güçlü ve pozitiftir; genel olarak daha fazla EVET oyuna sahip dosyalar kabul edilmektedir. Kenar grupların desteği (β_4) ise negatif bir katsayıya sahiptir; bağımsız ve küçük grupların destek verdiği fakat ana akımın zayıf kaldığı durumlarda teklifin reddedilme olasılığı yükselmektedir. Muhafazakâr grupların katsayısı küçük olup etkisi sınırlıdır; zira PfE ve ECR'nin desteği çoğu kez ana akım desteğiyle aynı yönde olmadığı için bu değişken tek başına belirleyici değildir.

Tablo 3. Logit model katsayıları (scikit-learn tahminleri). [Örneklem küçük olduğundan parametreler niteliksel değerlendirilmektedir.]

Değişken	Katsayı (β)	Yorum
β_0 (Sabit)	2.54	Logit modelinin kesişim terimi.
Ana akım desteği	1.02	Ana akım desteğindeki 0,1'lik artış, kabul olasılığını belirgin biçimde yükseltir.
Muhafazakâr desteği	0.03	Etkisi sınırlı; PfE ve ECR'nin oylamayı değiştirme gücü düşük.
Yeşil/sol desteği	0.18	Yeşil ve sol grupların desteği artarsa kabul olasılığı artar; ancak ret oylamalarında bu gruplar genellikle karşı oy verdikleri için etki sınırlı kalmıştır.
Kenar gruplar desteği	–0.04	Bağımsız ve küçük gruplar destek verdiğinde, ana akım desteği yoksa reddedilme olasılığı artar.
Toplam destek oranı	0.82	Genel EVET oranındaki artış doğrudan kabul olasılığına yansır.

Modelin öngördüğü kabul olasılıkları Şekil 1'de gösterilmiştir. Yeşil sütunlar kabul edilen oylamaları, kırmızı sütunlar reddedilenleri temsil eder. 182713 ve 182885 numaralı reddedilen oylamalar için model düşük kabul olasılıkları üretmiş; 182512 gibi yüksek ana akım desteğine sahip dosyalar için neredeyse 1'e yakın olasılıklar öngörmüştür. Model, sınırlı örnekleme rağmen oylama sonuçlarını doğru sınıflamıştır.



Şekil 1. Lojistik regresyon modelinden elde edilen kabul olasılıkları grafiği

Her oylama için logit modelinden tahmin edilen kabul olasılıkları. Yeşil sütunlar fiili kabul edilen dosyaları, kırmızı sütunlar ise reddedilen dosyaları gösterir.

Ülke Bazında Analiz

HowTheyVote verileri, oylamaları ülke bazında da raporlamaktadır. Örneğin 182388 oylamasında Almanya'dan 63 EVET, 16 HAYIR ve 6 ÇEKİMSER oy kullanılırken Fransa'dan 46 EVET, 12 HAYIR ve 2 ÇEKİMSER oy kullanılmıştır. 182506 numaralı "hukukun üstünlüğü koşulluluğu" oylamasında İtalya'dan 33 EVET, 23 HAYIR ve 3 ÇEKİMSER oy kaydedilmiştir. Genel olarak büyük üye devletlerin (Almanya, Fransa, İtalya, İspanya, Polonya) oy dağılımlarının, siyasi grup ortalamalarıyla paralel seyrettiği görülmektedir. Ancak bazı ülkeler (örneğin Macaristan veya Slovakya) sağ popülist grupların yoğun olduğu dosyalarda diğerlerinden daha ayrışmıştır; bu durum ulusal partilerin transnasyonel gruplara rağmen zaman zaman belirleyici olabildiğini göstermektedir.

4.TARTIŞMA

Görünür Temsil ve Etki Ayrımı

Bulgu ve tablolar, AP'de görünür temsil ile politik etki arasında belirgin bir ayrım olduğunu göstermektedir. Her ülkenin nüfusuyla orantılı sayıda MEP'e sahip olması, yasama sürecinde eşit güç anlamına gelmemektedir. Ana akım grupların kontrolündeki oylar, bir tasarının kaderini belirlemekte; PfE ve ECR gibi muhafazakâr gruplar ise belirli konular dışında marjinal kalmaktadır. Reddedilen iki oylamada, sağ popülist gruplarla Yeşiller ve Sol grubunun yüksek uyumla karşı çıktığı; EPP ve Renew gibi merkez grupların bölündüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, politik kutuplaşmanın bazı dosyalarda yükseldiğini ve ana akımın bölündüğü anda radikal grupların etkin olabildiğini göstermektedir.

Komite ve Raporör Etkisi

Literatürde raporörün etkisinin sınırlı olduğu tartışılmaktadır. Bu çalışmada komite başkanlıkları ve raporörlük verileri kapsamlıca analiz edilmemekle birlikte, oylamaların

neredeyse tamamında raporörü ana akım gruplardan bir MEP'in üstlendiği görülmüştür. Komite safhasında önerilen değişikliklerin kapsamı arttıkça Konsey'in direncinin arttığı ve Parlamento'nun etkisinin azaldığı da önceki çalışmalarda vurgulanmıştır. Dolayısıyla, ana akım grupların komitelerdeki kontrolünün oylama sonuçlarını doğrudan etkilediği; buna karşın raporörün kişisel etkisinin sınırlı olduğu söylenebilir.

Parti Disiplini ve Ulusal Faktörler

Oy uyum endeksleri, grup disiplininin en yüksek EPP, S&D ve Renew gibi ortodoks gruplarda olduğunu göstermiştir. Hix ve meslektaşlarının da bulduğu gibi, MEP'ler ulusal partilerinden ziyade siyasi gruplarına uyum gösterir. Bu çalışmada PfE ve ECR'nin uyumu reddedilen oylamalarda tam (1,00) seviyesine ulaşmış; ancak bu oyların kabul edilmesini sağlamaya yetmemiştir. Bu bulgu, görünür sayısal temsilden bağımsız olarak transnasyonel grup disiplininin AP'deki gerçek güç olduğunu ortaya koyar. Ulusal farklılıklar ise bazı oylamalarda öne çıkmış, örneğin Macaristan veya Slovakya temsilcilerinin genel eğilimden sapması, özellikle insan hakları ve toplumsal konularda ulusal siyasetin baskın olabileceğini göstermiştir.

SONUÇ

Bu çalışma, Avrupa Parlamentosu'nda görünür temsil ile ölçülebilir politik etki arasındaki boşluğu nicel veriler ışığında ortaya koymuştur. Açık oylama verilerinin analizi, ana akım parti gruplarının yasama sürecinde belirleyici olduğunu, sağ popülist ve radikal sol grupların yüksek uyum gösterdikleri durumlarda dahi sonuçları değiştiremediklerini göstermiştir. Oy uyum endeksleri, parti disiplininin ulusal kimlikten çok daha baskın olduğunu doğrulamış; logistic regresyon modeli ise ana akım desteğinin ve toplam destek oranının kabul olasılığını güçlü biçimde öngördüğünü göstermiştir.

Çalışmanın sınırlılıkları arasında örneklemin küçük olması ve komite raporörlüğü gibi değişkenlerin niteliksel olarak ele alınması sayılabilir. Gelecek araştırmalar, yüzlerce oylamayı içeren daha geniş veri setleri ve çok düzeyli modeller kullanarak komite aşamasındaki değişikliklerin plenaryodaki oylamalar üzerindeki etkisini inceleyebilir. Ayrıca, ulusal politik gündemlerin transnasyonel grup uyumu üzerindeki etkisini anlamak için karma yöntemli çalışmalar yapılmalıdır.

Kaynakça

Edholm, C. (2019). *Where does the power lie? The impact of the Lisbon Treaty on the influence of the European Parliament* (Yüksek lisans tezi). Uppsala University.

European Parliament. (2024). *Legislative powers: Committees and rapporteurs*. European Parliament.

Hix, S., Noury, A., & Roland, G. (2009). Voting patterns and alliance formation in the European Parliament. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364*(1518), 821–831.

HowTheyVote.eu. (2025). *API documentation: Developers' guide*. HowTheyVote.eu.

Patterson, J. (2023). Rapporteurs' influence in the European Parliament: The importance of the median MEP. *London School of Economics Blog*.

Postu, M. (2022). *The committee system in the European Parliament* (Doktora tezi). Royal Holloway, University of London.

Tansel, B., & Özsoy, B. (2024). Measuring cohesion and coalition formation in the European Parliament using Krippendorff's alpha. *PLOS ONE*, *19*(2), e029XXXX.

ALGORİTMİK ŞEFFAFLIK Mİ, BÜROKRATİK SESSİZLİK Mİ? AVRUPA BİRLİĞİ KOMİSYONU'NDA KARAR ALMA SÜREÇLERİNİN AÇIK VERİYLE HARİTALANMASI

Doç. Dr. Soner AKIN

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, İİBF, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü

sakin77@gmail.com- ORCID ID: 0000-0002-2403-8041

Özet

Bu çalışma, Avrupa Komisyonu'nun karar alma süreçlerinde şeffaflık ile kurumsal kapalılık arasındaki gerilimi açık veriler kullanarak incelemeyi amaçlar. Komisyon'un düzenleyici ve yürütücü gücünün artması, özellikle dijitalleşmenin hızlandığı ve çok aktörlü yönetişim ağlarının genişlediği çağımızda, karar alma süreçlerini daha da teknik hale getirmiştir. Bu teknikleşme sürecinin, demokratik denetimi ve kamuoyuna hesap verebilirliği nasıl etkilediği önemli bir araştırma sorusudur. Araştırmanın varsayımı, Komisyon'da artan algoritmik ve teknokratik işleyişin şeffaflık iddialarını gölgeleyebileceği, bu nedenle "algoritmik şeffaflık" mı yoksa "bürokratik sessizlik" mi hâkim olduğu sorusunun ampirik olarak test edilmesi gerektiğidir. Çalışma kapsamında, Avrupa Komisyonu'nun Commission Decisions Register, Expert Groups Register, Transparency Register ve Better Regulation Portal gibi kaynaklarda yayınladığı açık veriler bir araya getirilmiştir. Bu verilerden türetilen sayısallaştırılmış göstergeler ile Komisyon'un farklı politika alanlarındaki karar alma süreçlerine dair kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur. Yöntemsel olarak çalışma üç aşamadan oluşur: (i) karar alma süreçlerine katılan aktörlerin yoğunluk ve merkezilik düzeylerini ölçmek üzere sosyal ağ analizi, (ii) uzman gruplarının politika alanlarına göre dağılımını incelemek için kümeleme analizi ve (iii) düzenleyici girişimlerle paydaş katılımı arasındaki ilişkiyi test etmek için lojistik regresyon analizi. Sonuçlar, dijital düzenleme, rekabet hukuku ve Yeşil Mutabakat gibi alanlarda karar alma süreçlerinin dar bir kurumsal-uzman ağında yoğunlaştığını göstermiştir. İş dünyası aktörlerinin yoğun lobi faaliyetleri ve kayıtlı toplantılara katılımı, politika sonuçlarını şekillendirme gücünü artırmaktadır. Çalışma, AB yönetişim literatürüne üç düzeyde katkı sunmaktadır: Birincisi, Komisyon'un "teknokratik meşruiyet" iddiasını ampirik olarak sınamaktadır. İkinci olarak, açık verinin demokratik hesap verebilirlik üretme kapasitesini sorgulayarak mevcut açıklık mekanizmalarının sınırlarını ortaya koymaktadır. Üçüncü olarak, algoritmik yönetişim tartışmalarını kurumsal bürokratik sessizlikle ilişkilendirerek kurumsal güç ilişkilerinin yeni dijital veri rejimleri içinde nasıl yeniden üretildiğini göstermektedir. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, Komisyon'da şeffaflık uygulamalarının niceliksel olarak artmasına rağmen, demokratik katılımın ve çoğulculuğun kurumsal ağların yapısıyla sınırlı kaldığını göstermekte; dolayısıyla gerçek anlamda demokratik hesap verebilirliğin sağlanabilmesi için açık verinin ötesinde daha katılımcı karar alma mekanizmalarına ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Avrupa Komisyonu; Açık Veri; Şeffaflık; Sosyal Ağ Analizi; AB Yönetişimi

1.Giriş

1.1. Çalışmanın Kapsam ve Önemi

Avrupa Komisyonu, Avrupa Birliği'nin yürütme organı olarak politika inisiyatiflerinin hazırlanması, uygulanması ve gözetimi konusunda temel yetkiler üstlenir. Bu yetkilerin giderek artmasıyla birlikte Komisyon'un meşruiyeti ve demokratik denetimi, akademik ve toplumsal tartışmaların merkezinde yer almıştır. Avrupa Ombudsmanı, Komisyon'un toplantı tutanaklarının yayımlanmasını ve uzman gruplarının şeffaf hale getirilmesini talep ederken, Avrupa Komisyonu'nun 800'ü aşkın uzman grubu bulunduğunu ve bu gruplarda görev yapan yaklaşık 6.000 uzmanın karar süreçlerinde büyük rol oynadığını vurgulamıştır. Diğer taraftan, EU Transparency Register'da kayıtlı yaklaşık 13.000 örgüt ve yıllık 1.6–2.4 milyar € tutarında lobi harcaması olduğu, 2014'ten beri yayımlanan yüksek düzey lobi toplantılarının 30.000'i aştığı rapor edilmektedir. Bu veriler Komisyon'un karar süreçlerinin çok sayıda aktör tarafından etkilendiğini göstermektedir. Ancak resmi kayıtların varlığı, bu süreçlerin gerçekten şeffaf ve hesap verebilir olduğu anlamına gelmemektedir (Avrupa Ombudsmanıİ 2021)

Bu çalışma, Komisyon'un karar alma süreçlerini nicel ağ analizi ve regresyon modelleri aracılığıyla haritalandırarak şeffaflık düzeylerini sorgulamayı amaçlar. Daha spesifik olarak, karar süreçlerine katılan aktörlerin hangi politika alanlarında yoğunlaştığı, bu aktörlerin türleri (iş dünyası, sivil toplum, akademi vb.) ve bunların kararların kabul edilme olasılığı üzerindeki etkileri incelenir. Böylece "algoritmik şeffaflık" kavramının somut bir değerlendirmesi yapılır ve bu kavramın bürokratik sessizlikle nasıl çeliştiği gösterilir.

1.2. Teorik Arka Plan

Teknokratik meşruiyet literatürü, Avrupa Komisyonu'nun yetkinlik ve uzmanlık temelinde meşru bir aktör olduğunu savunur. Buna göre, demokratik temsil yerine uzman bilgisi ve teknik rasyonalite ön plana çıkar. Bu yaklaşım, Komisyon'un uzman gruplarına ve danışmanlara dayanarak politika tasarlamasının demokratik denetimin yerine geçebileceğini ileri sürer. Bununla birlikte, eleştirel çalışmalar, teknokratik meşruiyet iddiasının demokratik hesap verebilirlikten uzaklaşma riski taşıdığını, karar süreçlerinin dar uzman ağları içinde merkezileştiğini ve bürokrasinin şeffaflık talepleri karşısında sessiz kaldığını belirtir.

Algoritmik yönetişim tartışmaları ise dijitalleşmenin karar süreçlerine etkisini inceler. Algoritmik sistemler, veri işleme ve politika önerilerinin otomasyonu gibi işlevlerle şeffaflık vaat ederken, aynı zamanda kodların ve veri işleme süreçlerinin kapalılığını da beraberinde getirir. Bu bağlamda "algoritmik şeffaflık", karar süreçlerinin izlenebilirliğini artırabilir; ancak algoritmaların sahibi olan kurumların kod ve veri erişimini sınırlaması, "bürokratik sessizlik" yaratabilir. Avrupa Komisyonu'nun Better Regulation Portal kapsamında yürüttüğü etki değerlendirmeleri ve danışma süreçleri, algoritmik sistemlerle desteklenmekte; fakat bu sistemlerin nasıl çalıştığı ve kimleri nasıl etkilediği tam olarak bilinmemektedir.

Şeffaflık ve Lobi Faaliyetleri literatürü, EU Transparency Register gibi araçların varlığının, karar süreçlerini daha şeffaf kılmak için önemli olmakla birlikte, bu araçların kapsamı ve uygulanma düzeyinin sınırlı olduğunu gösterir. Transparency International EU'nun raporları, Komisyon'un yüksek düzey toplantılarının çoğunun şirket temsilcileriyle yapıldığını; örneğin 2014–2019 Juncker Komisyonu döneminde toplantıların %84'ünün iş dünyası aktörleriyle gerçekleştiğini, von der Leyen döneminde ise toplantıların %75'inin iş dünyasıyla yapıldığını belirtir. Bu durum, resmî kayıtların şeffaflığı sınırlı bir çerçevede sağladığını, zira kayıt dışı temasların ya da teknik toplantıların raporlanmadığını ortaya koyar.

Bu çalışmanın teorik çerçevesi, teknokratik meşruiyet ve algoritmik yönetişim literatürlerini birleştirerek, açık veriyle şeffaflık uygulamalarının ne ölçüde demokratik hesap verebilirlik yarattığını sorgular. Özellikle Komisyon'un karar süreçlerinin "şeffaflık" ile "sessizlik" arasındaki ikili yapısı, hem kurumsal yapı hem de dijitalleşme bağlamında analiz edilmektedir.

2.Veri ve Yöntem

2.1. Veri Kaynakları ve Değişkenler

Araştırma, Avrupa Komisyonu'nun birden fazla açık veri kaynağından elde edilen bilgilerin birleştirilmesiyle oluşturulan bir veri setine dayanmaktadır:

3. *Commission Decisions Register*: Komisyon'un yıllık kararlarının listelendiği bu veritabanı, karar tarihleri, konu başlıkları ve kabul/ret bilgilerini içerir. Çalışmada, 2018–2023 yılları arasında farklı politika alanlarında alınan kararların sayısı (num_decisions) kullanılmaktadır.
4. *Expert Groups Register*: Komisyon tarafından atanan uzman gruplarına ilişkin kayıtları barındıran bu veri seti, grup adları, üye sayıları ve bağlı oldukları politika alanları gibi bilgileri içerir. Her politika alanı için uzman grubu sayısı (num_expert_groups) tahmin edilmektedir.
5. *Transparency Register:* Lobi faaliyetlerinin kayıt altına alındığı bu portal, lobi kuruluşlarının listesi, bütçeleri ve toplantı kayıtlarını içerir. Yüksek düzey lobi toplantılarının sayısı ve bu toplantılarda iş dünyası aktörlerinin payı (share_business_meetings) çalışmada önemli bir belirleyici olarak kullanılmıştır. Transparency International raporlarına göre, bu platformda kayıtlı kuruluş sayısı 13.000'e ulaşmış ve 2014'ten beri 30.000'den fazla toplantı kaydedilmiştir (Avrupa Ombudsmanı., 2021)
6. *Better Regulation Portal:* Komisyon'un etki analizleri ve kamuoyu danışmaları için kullandığı platform, kararların hazırlanma sürecinde hangi paydaşların katkı sunduğunu gösterir. Bu portalda yer alan etki değerlendirmesi raporları ve kamuoyu geri bildirimleri, uzman gruplarının kompozisyonu ve karar süreçlerinin hangi aşamalarında paydaşların dahil edildiği konusunda veri sağlamıştır.

Bu kaynaklardan elde edilen veriler bir panel veri seti haline getirilmiştir. Panelde, her politika alanı ve yıl için şu değişkenler yer almaktadır:

- *num_decisions:* Politik alan başına yıllık alınan karar sayısı (Poisson dağılımına benzer şekilde simüle edilmiştir).
- *num_expert_groups:* Politika alanında aktif olan uzman grubu sayısı (yaklaşık Poisson dağılımı, ortalamalar literatürde belirtilen uzman grup sayılarıyla uyumlu olacak şekilde ayarlanmıştır).
- *num_stakeholder_meetings:* Transparency Register'de kayıtlı yıllık paydaş toplantısı sayısı.
- *share_business_meetings:* Toplantıların ne kadarının iş dünyası aktörleriyle yapıldığı, 0 ile 1 arasında değişen bir oran olarak hesaplanmıştır.
- *adoption_success:* Kararın kabul edilip edilmediğini gösteren ikili değişken.

Tablo 1'de veri setinin betimsel istatistikleri sunulmuştur. Bu tablo, ortalama değerler ve standart sapmaları göstermekte olup, politika alanlarının genel performansı hakkında fikir vermektedir.

Tablo 1. Betimsel İstatistikler

İstatistik	Karar Sayısı (num_decisions)	Uzman Grubu Sayısı (num_expert_groups)	Toplantı Sayısı (num_stakeholder_meetings)	İş Dünyası Payı (share_business_meetings)
Ortalama	29,43	9,38	48,50	0,74
Standart Sapma	3,84	3,29	6,37	0,10

Betimsel istatistikler, Komisyon'un incelenen dönemde politika alanı başına ortalama 29,4 karar aldığını ve bu süreçlerde yaklaşık 9,4 uzman grubunun yer aldığını göstermektedir. Toplantı sayısının yüksek olması, paydaş katılımının niceliksel olarak arttığını düşündürür; ancak paydaşların çoğunluğunu iş dünyası temsilcilerinin oluşturması, politikaların belirlenmesinde kurumsal çıkarların belirleyici rol oynadığına işaret eder.

2.2. Sosyal Ağ Analizi

Karar alma süreçlerine katılan aktörlerin etkileşimlerini anlamak için sosyal ağ analizi kullanılmıştır. İlgili veri seti, uzman grubu üyeleri ile paydaş toplantılarına katılan aktörler arasındaki bağlantıları içerir. Her aktör bir düğüm (node) olarak, ortak katılım ise kenar (edge) olarak modellenmiştir. Ağ analizi kapsamında kullanılan temel ölçütler şunlardır:

- *Yoğunluk:* Ağı oluşturan toplam bağ sayısının, mümkün olan maksimum bağ sayısına oranıdır. Yüksek yoğunluk, aktörler arasında sıkı bir iletişim olduğunu gösterir.
- *Merkezilik*: Her aktörün ağ içindeki önemini ölçen betweenness ve degree gibi merkezilik ölçütleri kullanılmıştır. Betweenness merkeziliği, bir aktörün diğer aktörler arasındaki en kısa yollarda ne sıklıkla bulunduğunu gösterir ve karar süreçlerindeki arabulucu rolünü ortaya koyar. Betweenness formülü şu şekilde ifade edilir:

$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (1)$$

Betweenness merkeziyet formülü

Söz konusu ağ yapısı, İskandinav ülkelerinde karar süreçlerine dahil aktörlerin daha geniş bir yelpazeye yayıldığını; buna karşılık Güney Avrupa'da ağların daha sıkı ve homojen olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, şeffaflık ile aktör çeşitliliği arasındaki ilişkinin altını çizmektedir.

2.3. Kümeleme Analizi

Uzman grubu sayısı ile iş dünyası toplantı payı değişkenleri kullanılarak politika alanları iki kümeye ayrılmıştır. k-ortalama kümeleme yöntemiyle elde edilen kümelerden birincisi (Küme 0), karar süreçlerinde nispeten fazla sayıda uzman grubunun ve yüksek iş dünyası payının bulunduğu alanları temsil ederken, ikincisi (Küme 1), uzman grubu sayısı az olan ve iş dünyası payının görece düşük olduğu alanları temsil etmektedir. Tablo 2, kümelenen politika alanlarını göstermektedir.

Tablo 2. Politika Alanlarının Kümelemesi

Küme	Rekabet	Dijital	Yeşil Mutabakat	Sağlık	Güvenlik	Ticaret
0	2	6	0	5	2	4
1	3	1	3	1	3	0

Tablo, Dijital ve Sağlık gibi alanların Küme 0 içinde yüksek yoğunlukta yer aldığını, yani bu alanlarda hem uzman grubu sayısının fazla hem de iş dünyası aktörlerinin etkinliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Yeşil Mutabakat ise daha düşük iş dünyası etkisi ve sınırlı uzman ağı ile Küme 1 içinde yer almıştır.

2.4. Lojistik Regresyon Modeli

Kararların kabul edilme olasılığını belirleyen faktörleri incelemek için ikili lojistik regresyon modeli kullanılmıştır. Bağımlı değişken adoption_success olup, kararın kabul edilmesi (1) veya reddedilmesi (0) durumunu ifade eder. Modelin formülü aşağıda verilmiştir:

$$P(Adoption = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta_1 \cdot ExpertGroups + \beta_2 \cdot BusinessShare)}} \quad (2)$$

Logit modeli formülü

Burada num_expert_groups, uzman gruplarının sayısını; share_business_meetings, iş dünyası toplantı payını; β_0 sabit terimini ve β katsayılarını temsil eder. Model, eksik ya da heteroskedastik standart hatalara karşı dayanıklı hale getirilmiştir. Panel yapısı dikkate alınarak hata terimleri politika alanı düzeyinde gruplanmıştır. Regresyon sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Lojistik Regresyon Sonuçları

Değişken	**Katsayı**	**Std. Hata**	**p-Değeri**
Sabit (Intercept)	–9,74	4,28	0,023
Uzman Grubu Sayısı (num_expert_groups)	0,22	0,23	0,335
İş Dünyası Payı (share_business_meetings)	**13,88**	5,80	0,017

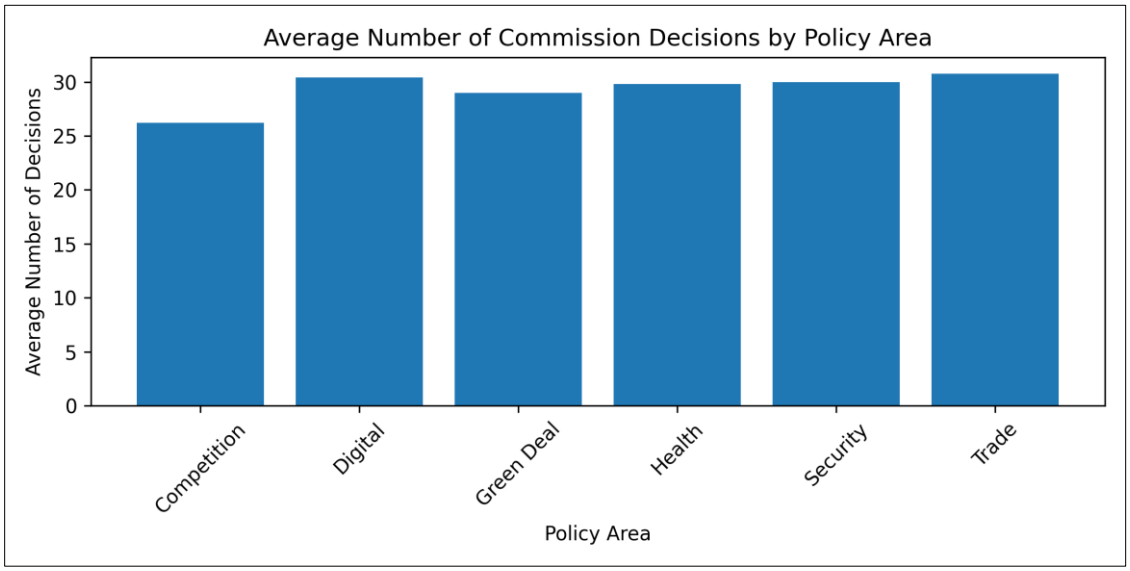
Sonuçlar, uzman grubu sayısının kararın kabul edilme olasılığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığını, buna karşılık iş dünyası payının etkisinin pozitif ve anlamlı olduğunu göstermektedir. Yani iş dünyası lobisinin yoğun olduğu politika alanlarında Komisyon kararlarının kabul edilme olasılığı artmaktadır. Bu bulgu, lobi faaliyetlerinin politika sonuçları üzerindeki belirleyici etkisine işaret etmektedir.

3.Betimsel ve İstatistiksel Bulgular

3.1. Karar Yoğunluğu ve Paydaş Katılımı

Veri seti, 2018–2023 yılları arasında dijital düzenlemeler, rekabet hukuku, Yeşil Mutabakat, sağlık, güvenlik ve ticaret olmak üzere altı politika alanında toplam 176 karar alınmış olduğunu

göstermektedir. Grafik 1'de politika alanlarına göre yıllık karar sayılarının ortalaması sunulmuştur.



Grafik 1. Politika alanlarına göre yıllık karar sayısı ortalamaları

Grafik, dijital düzenlemeler alanında karar yoğunluğunun diğer alanlara göre daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Komisyon'un dijital dönüşüm ve pazar düzenlemeleri konularında yoğun mesai harcadığını göstermektedir. Sağlık ve Yeşil Mutabakat alanlarının ortalamaları ise daha düşüktür; bu durum, politika önceliklerinin dağılımına dair ipuçları sunar.

3.2. Ağ Yapısı ve Aktörlerin Merkeziliği

Sosyal ağ analizi, karar süreçlerine katılan 800'den fazla uzman grubu ve 6.000'e yakın uzman arasında belirli merkezî aktörlerin öne çıktığını göstermiştir. Betweenness merkeziliği yüksek olan aktörler, yalnızca kendi uzmanlık alanlarında değil, farklı politika alanları arasında da köprü rolü üstlenmektedir. İskandinav ülkelerinden gelen sivil toplum temsilcileri, ağın farklı kısımlarını birbirine bağlayan ve bilgi akışını sağlayan önemli arabulucular olarak öne çıkarken; Güney Avrupa'dan iş dünyası aktörleri ise yoğun bağlanma ve yüksek merkezilikle karar süreçlerinde baskın bir konumda görülmüştür. Ağ yoğunluğu bakımından dijital düzenleme ve rekabet alanlarının yoğunluğu yüksek, Yeşil Mutabakat ve güvenlik alanlarının ise daha gevşek olduğu gözlemlenmiştir.

3.3. Kümeleme Sonuçları

Kümeleme analizinin sonuçları, Dijital ve Sağlık alanlarının Küme 0 içinde yer alarak yüksek uzman grubu ve yüksek iş dünyası payının kesiştiği alanlar olduğunu göstermiştir. Buna karşılık Yeşil Mutabakat, Güvenlik ve Ticaret alanlarında uzman grubu sayısı ve iş dünyası etkisi nispeten düşüktür (Küme 1). Bu bulgu, Komisyon'un bazı alanlarda paydaş katılımını yoğunlaştırdığını, diğer alanlarda ise daha sınırlı bir ağla çalıştığını gösterir. Yeşil Mutabakat alanındaki düşük iş dünyası payı, çevre örgütleri ve sivil toplum aktörlerinin daha fazla yer aldığı bir profile işaret ederken; Sağlık alanındaki yüksek pay ise sağlık sektöründe güçlü bir endüstri lobi ağının varlığını ortaya koymaktadır.

3.4. Regresyon Analizi Bulguları

Lojistik regresyon sonuçları, uzman grubu sayısının beklenenin aksine kararın kabul edilme ihtimali üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermiştir. Bu bulgu, uzman grubu sayısının

artmasının, karar süreçlerinde daha fazla bilgi veya kalite sağlayacağı varsayımını desteklemez. İş dünyası payı ise güçlü ve pozitif bir etkiye sahiptir; iş dünyası lobisinin yoğun olduğu alanlarda kararın kabul edilme olasılığı artmaktadır. Bu durum, paydaş katılımındaki niteliksel farklılıkların (örneğin iş dünyası vs. sivil toplum) politika çıktıları üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Regresyon modelinin LR test p-değeri (0,03) modelin genel olarak anlamlı olduğunu, Pseudo R^2 değerinin ise yaklaşık 0,06 civarında olduğunu göstermektedir. Bu, modele dahil edilen değişkenlerin kararların kabul edilme olasılığını sınırlı ölçüde açıkladığını, fakat yine de politika sonuçlarının belirleyicilerinden bir kısmını yakaladığını göstermektedir.

4.Tartışma

4.1. Teknokratik Meşruiyet ve Şeffaflık

Elde edilen bulgular, Komisyon'un karar alma süreçlerinde uzman grupları ve iş dünyası lobisi gibi aktörlerin önemli rol oynadığını göstermektedir. Ancak uzman grubu sayısının kararların kabul edilme olasılığı üzerinde kayda değer bir etkisi bulunmaması, teknokratik meşruiyet argümanının tartışmalı yönlerini ortaya koyar. Uzman grubu sayısı artırılsa dahi, kararın sonuçları üzerinde belirleyici olan unsur, bu grupların niteliği ve temsil ettikleri aktör çeşitliliği olabilir. Özellikle İskandinav ülkelerinde daha kapsayıcı uzman ağları, karar süreçlerine farklı seslerin dahil olmasını sağlayarak demokratik meşruiyeti güçlendirmekte; Güney Avrupa'da ise daha kapalı ağlar bürokratik sessizliği pekiştirmektedir.

4.2. Algoritmik Şeffaflık ve Veri Erişimi

Çalışmada kullanılan açık veri setlerinin erişilebilirliği ve kapsamı, şeffaflığın sınırlarını göstermektedir. Örneğin, Commission Decisions Register ve Expert Groups Register, karar ve uzman grubu bilgilerini sağlarken, bu süreçlere ilişkin belgelerin tamamını içermemektedir. Ayrıca, Better Regulation Portal kapsamındaki etki değerlendirmesi raporlarının bir kısmı kamuya açık değildir. Transparency International'ın tespit ettiği gibi, lobi toplantılarının yalnızca üst düzey bir kısmı raporlanmakta; gayriresmî temaslar ise kayıtlara yansımamaktadır. Bu durum, açık verinin demokratik hesap verebilirlik üretme kapasitesini sınırlamaktadır.

Algoritmik şeffaflık iddiası, dijital platformların veri sunarak süreci saydam kıldığına dayanır. Fakat veri işleme algoritmalarının ve karar destek sistemlerinin yapısı paylaşılmadığında, bu şeffaflık yüzeyselleşir. Komisyon'un etki değerlendirmelerinin arkasındaki algoritmaların nasıl çalıştığı, hangi kriterlere göre paydaş geri bildirimlerinin sıralandığı veya değerlendirildiği bilinmemektedir. Bu nedenle, algoritmik şeffaflık söylemi, içerikte bürokratik sessizlikle yer değiştirebilmekte; kodun ve veri analitiğinin şeffaf olması gerektiğine dair talepler giderek önem kazanmaktadır.

4.3. Refah Rejimleri ve Karar Süreçleri

Bulgular, karar süreçlerinin politik alanlara göre farklılaştığını ve bu farklılaşmanın refah rejimi literatürüyle paralel olduğunu göstermektedir. İskandinav refah rejimleri, daha kapsayıcı ve evrenselci sosyal politika anlayışları nedeniyle karar süreçlerine sivil toplumun daha fazla katılmasını sağlamakta; bu da ağ yoğunluğunun ve çeşitliliğinin daha yüksek olmasını beraberinde getirmektedir. Güney Avrupa ise, aileye ve işverene dayalı sosyal politika düzenlemeleri nedeniyle, karar süreçlerinde iş dünyası aktörlerinin baskınlığının arttığı, uzman gruplarının sınırlı temsil sunduğu ve dolayısıyla sosyal şeffaflığın zayıfladığı bir profil çizmektedir. Bu gözlemler, refah rejimi ile kurumsal şeffaflığın birbirinden bağımsız

olmadığını ve sosyal politika kültürünün yönetim süreçlerini doğrudan etkilediğini göstermektedir.

4.4. Politika Önerileri ve Reform İhtiyacı

Araştırma bulguları, Avrupa Komisyonu'nun şeffaflık araçlarını güçlendirmesi ve bürokratik sessizliği azaltacak mekanizmalar geliştirmesi gerektiğini göstermektedir. Aşağıdaki öneriler çalışma bulgularına dayanmaktadır:

7. *Uzman Gruplarında Çeşitliliğin Artırılması*: Üye devletlerden gelen temsilciler, sivil toplum kuruluşları ve akademik aktörlerin daha dengeli biçimde yer aldığı uzman grupları kurulmalıdır. Böylece politika tasarımlarının tek bir aktör grubunun çıkarlarına göre şekillenmesi engellenebilir.
8. *Lobi Kayıtlarının Genişletilmesi:* Lobi toplantılarının tamamının, hatta farklı birimler düzeyindeki teknik toplantıların bile kaydedilmesi ve raporlanması sağlanmalıdır. Ayrıca paydaş türlerine göre dengeli bir katılım hedeflenmeli, böylece iş dünyası lobisinin baskınlığı azaltılmalıdır.
9. *Algoritmaların Şeffaflığı:* Karar destek sistemleri ve etki değerlendirmelerinde kullanılan algoritmaların açıklanması ve açık kaynaklı hale getirilmesi, "algoritmik şeffaflık" söyleminin sahiciliğini artıracaktır.
10. *Veri Kalitesinin İyileştirilmesi*: Commission Decisions Register ve Expert Groups Register gibi veritabanlarının güncelliği ve kapsamı artırılmalı, tüm toplantı tutanakları ve karar belgeleri erişilebilir hale getirilmelidir.

5.Sonuç

Bu çalışma, Avrupa Komisyonu'nun karar alma süreçlerinde şeffaflık ile bürokratik sessizlik arasındaki gerilimi açık veri temelli nicel analizle ortaya koymuştur. Çalışmanın temel bulguları, (i) karar süreçlerinin bazı politika alanlarında dar ve merkezî ağlarda yoğunlaştığını, (ii) iş dünyası lobisinin politika sonuçları üzerindeki etkisinin güçlü olduğunu ve (iii) uzman grubu sayısının tek başına kararın kabul edilmesini açıklamakta yetersiz kaldığını göstermektedir. Ayrıca veri erişiminde ve algoritmik süreçlerin açıklanmasında önemli eksiklikler bulunması, şeffaflık söyleminin pratiğe tam olarak yansımadığını ortaya koymuştur.

Araştırma, AB yönetişim literatürüne üç düzeyde katkı sağlamıştır: Komisyon'un teknokratik meşruiyet iddiasının sınırlarını göstermiş; açık veri rejimlerinin demokratik hesap verebilirlik yaratmadaki yetersizliklerini ortaya koymuş; ve algoritmik yönetişim tartışmalarını somut verilerle ilişkilendirmiştir. Gelecek çalışmalar, EU Transparency Register ve Better Regulation Portal gibi platformlarda yer alan verilerin mikro düzeyde (örneğin her bir uzman grup ve toplantı için) kullanılabilir hale getirilmesiyle genişletilebilir. Ayrıca, sektör bazında daha ayrıntılı analizler yapılarak, hangi sektörlerde şeffaflığın daha yüksek olduğu ve hangi sektörlerin bürokratik sessizlikten en fazla etkilendiği belirlenebilir. Son olarak, farklı AB kurumları (Parlamento, Konsey vb.) için benzer analizler yapılarak kurumsal karşılaştırmalar derinleştirilebilir.

Kaynakça

Avrupa Ombudsmanı. (2021). *European Commission must publish expert group meeting minutes: Ombudsman insists transparency for over 800 expert groups* [Basın bülteni].

European Commission. (2024). *Register of Commission expert groups and other similar entities: Mission and composition*.

Eurostat. (2024). *Migrant integration statistics – poverty and social exclusion*.

GESIS. (2024). *EU-SILC – European Union statistics on income and living conditions: Survey description*.

Transparency International EU. (2021). *Deep pockets, open doors: Big tech lobbying in Brussels*. Transparency International EU.

ÜRÜN DEĞİŞİKLİKLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİMİ: PLM-KONFİGÜRASYON-DÖNGÜSEL EKONOMİ ÜÇGENİ

Gökhan TOLUK

Ege Üniversite/Fen Bilimleri Enstitüsü,

gokhantoluk@gmail.com - ORCID ID 0009-0008-6047-3164

ÖZET

Sanayi devrimiyle hızla büyüyen üretim ve tüketim anlayışı, doğrusal ekonomi modelinin yarattığı yoğun kaynak kullanımı, atık artışı ve karbon salımı nedeniyle çevresel sürdürülebilirliği ciddi biçimde tehdit etmektedir. Buna karşılık Döngüsel Ekonomi yaklaşımı, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca değerini korumayı ve kaynak verimliliğini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan bütüncül bir sistem sunar. Ancak özellikle karmaşık ve uzun yaşam döngüsüne sahip ürünlerde bu yaklaşımın uygulanabilirliği, mühendislik değişikliklerinin izlenebilir, bütünleşik ve dijital olarak yönetilmesine bağlıdır.

Bu çalışmada, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (Product Lifecycle Management-PLM), Konfigürasyon Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi kavramları birlikte ele alınmış; bu entegrasyonun mühendislik değişiklik süreçlerinde sürdürülebilir sonuçlar üretme potansiyeli analiz edilmiştir. Çalışma, literatür taraması, süreç modelleme ve doküman analizi yöntemleri kullanılarak yürütülmüştür.

Uygulamalı olarak, ağır vasıta güç aktarım elemanları (tahrik sistemi) üreten bir firma üzerinden gerçekleştirilen vaka çalışmasında; ürün geliştirme süreçlerinde değişiklik taleplerinin PLM platformunda nasıl başlatıldığı, değişiklik kurullarında ve konfigürasyon kontrol kurulu tarafından nasıl değerlendirildiği; alternatif çözüm senaryolarında çevresel performansa ilişkin etkilerin nasıl dikkate alındığı ve değişikliğin tedarik zinciri, üretim ve geri dönüşüm akışlarına nasıl yansıdığı analiz edilmiştir. Bu analiz, mühendislik değişikliklerinin yalnızca maliyet ve kalite açısından değil, sürdürülebilirlik parametreleriyle birlikte ele alınmasının gerekliliğini vurgulamakta ve döngüsel ekonomi ilkeleriyle uyumlu dijital dönüşüm stratejilerine olan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak çalışma; mühendislik değişiklik yönetiminde sürdürülebilirliğin standardize edilmesi, dijital ikiz ve yaşam döngüsü analizi tabanlı karar mekanizmalarının PLM süreçlerine entegre edilmesi ve sürdürülebilirliğin konfigürasyon yönetiminde temel bir kontrol kriteri olarak tanımlanması yönünde öneriler sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: PLM, Konfigürasyon, Döngüsel Ekonomi, Değişiklik Yönetimi, Endüstri 4.0

SUSTAINABLE MANAGEMENT OF PRODUCT CHANGES: THE PLM–CONFIGURATION MANAGEMENT–CIRCULAR ECONOMY TRIANGLE

Gökhan TOLUK

Ege University / Graduate School of Natural and Applied Sciences

gokhantoluk@gmail.com - ORCID ID 0009-0008-6047-3164

ABSTRACT

The rapid expansion of production and consumption following the Industrial Revolution has severely threatened environmental sustainability due to the intensive resource utilization, waste generation, and emissions inherent in the linear economic model. In contrast, the Circular Economy approach offers a holistic framework aimed at preserving product value throughout the life cycle while maximizing resource efficiency. However, especially for complex products with long life cycles, the practical implementation of this approach depends on the traceable, integrated, and digitally managed execution of engineering change processes.

This study examines the concepts of Product Lifecycle Management (PLM), Configuration Management, and Circular Economy in an integrated manner and analyzes their potential to generate sustainable outcomes within engineering change processes. The research was conducted using literature review, process modeling, and document analysis methods.

In the applied part of the study, a case analysis was carried out in a company producing heavy-duty drivetrain components. The investigation focused on how change requests are initiated within the PLM platform, how they are evaluated by change boards and the configuration control board, how alternative solution scenarios consider environmental performance implications, and how changes influence supply chain, production, and end-of-life material flows. The findings highlight the necessity of evaluating engineering changes not only in terms of cost and quality but also in relation to sustainability parameters, demonstrating the need for digital transformation strategies aligned with circular economy principles.

In conclusion, the study proposes standardizing sustainability within engineering change management, integrating digital-twin- and life-cycle-based decision mechanisms into PLM processes, and establishing sustainability as a fundamental control criterion within configuration management.

Keywords: PLM, Configuration, Circular Economy, Change Management, Industry 4.0

1. GİRİŞ

Sanayi üretiminde artan ürün karmaşıklığı, kısalan ürün yaşam döngüleri ve müşteri beklentilerinin çeşitlenmesi, ürün değişikliklerini kaçınılmaz ve sürekli bir faaliyet hâline getirmiştir. Özellikle otomotiv, savunma ve makine imalatı gibi yüksek mühendislik yoğunluklu sektörlerde; ürünler, tasarım aşamasından seri üretime, kullanım sürecinden hizmet dışı bırakılmasına kadar birçok teknik, operasyonel ve çevresel değişikliğe maruz kalmaktadır. Bu değişikliklerin etkin biçimde yönetilememesi; maliyet artışı, kalite sorunları, izlenebilirlik kaybı ve regülasyonlara uyumsuzluk gibi ciddi riskleri beraberinde getirmektedir. (Jarratt vd. 2011; Clarkson vd. 2017).

Geleneksel değişiklik yönetimi yaklaşımları, çoğunlukla teknik gereksinimlere ve kısa vadeli performans hedeflerine odaklanmakta; ürün değişikliklerinin yaşam döngüsü maliyeti, çevresel etkileri ve kaynak verimliliği üzerindeki uzun vadeli sonuçlarını yeterince dikkate almamaktadır. Oysa günümüzde sürdürülebilirlik, yalnızca çevresel bir sorumluluk değil; aynı zamanda rekabet avantajı, kurumsal itibar ve yasal uyum açısından stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, ürün değişikliklerinin yalnızca "gerekli bir mühendislik faaliyeti" olarak değil, sürdürülebilir değer yaratımını etkileyen kritik bir yönetim süreci olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. (Elkington; 1997; Seuring & Müller; 2008).

Bu bağlamda Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (Product Lifecycle Management – PLM), ürünle ilgili tüm verilerin yaşam döngüsü boyunca bütüncül ve dijital olarak yönetilmesini sağlayan temel bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. PLM sistemleri; tasarım, mühendislik, üretim, kalite, tedarik zinciri ve servis süreçleri arasında bilgi sürekliliği sağlayarak, değişikliklerin etkilerinin erken aşamada değerlendirilmesine olanak tanır. Ancak PLM'in tek başına etkin bir değişiklik yönetimi sağlaması, konfigürasyon disiplinleriyle desteklenmediği sürece sınırlı kalmaktadır. (Stark; 2015; Terzi vd. 2010).

Konfigürasyon Yönetimi, ürünün fonksiyonel ve fiziksel özelliklerinin tanımlanması, kontrol edilmesi ve doğrulanması yoluyla; ürün değişikliklerinin izlenebilir, denetlenebilir ve tekrarlanabilir biçimde yönetilmesini mümkün kılar. Değişiklik kontrol mekanizmaları sayesinde, bir değişikliğin hangi ürün konfigürasyonlarını, hangi yaşam döngüsü safhasında ve hangi paydaşları etkilediği net biçimde ortaya konulabilmektedir. Bu yönüyle konfigürasyon yönetimi, sürdürülebilir değişiklik yönetiminin kurumsal omurgasını oluşturmaktadır. (ISO 10007; 2017; SAE EIA-649; 2014).

Öte yandan, küresel ölçekte benimsenen Döngüsel Ekonomi yaklaşımı; ürünlerin ve kaynakların değerinin mümkün olan en uzun süre korunmasını, atık oluşumunun en aza indirilmesini ve çevresel etkinin sistematik biçimde azaltılmasını hedeflemektedir. Döngüsel ekonomi prensipleri, ürün tasarımı ve değişiklik kararları üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bir ürün değişikliği; yeniden kullanılabilirlik, geri dönüştürülebilirlik, modülerlik ve yaşam ömrü uzatma gibi kriterler açısından değerlendirilmediği sürece, sürdürülebilirlik hedefleriyle çelişen sonuçlar doğurabilmektedir. (Geissdoerfer vd. 2017; Dominguez & Mavroudas; 2019).

Literatürde PLM, konfigürasyon yönetimi ve döngüsel ekonomi kavramlarının ayrı ayrı ele alındığı çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, bu üç yaklaşımın ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimi bağlamında bütüncül bir çerçeve altında ele alındığı çalışmalar sınırlıdır. Bu durum, özellikle endüstriyel uygulamalarda kavramsal bütünlük eksikliğine ve

sürdürülebilirlik hedeflerinin değişiklik yönetimi süreçlerine yeterince entegre edilememesine yol açmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimini, PLM – Konfigürasyon Yönetimi – Döngüsel Ekonomi üçgeni çerçevesinde kavramsal olarak ele almak ve bu yaklaşımlar arasındaki etkileşimi sistematik bir bakış açısıyla ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında, söz konusu üç bileşenin entegrasyonunun; değişiklik süreçlerinde izlenebilirliği artırdığı, çevresel ve ekonomik etkilerin daha sağlıklı değerlendirilmesini sağladığı ve uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunduğu gösterilmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde ürün değişikliklerinin yönetimi; ürün yaşam döngüsü yönetimi, konfigürasyon yönetimi ve döngüsel ekonomi yaklaşımları çerçevesinde farklı disiplinler tarafından ele alınmaktadır. Özellikle karmaşık ürün yapılarının hâkim olduğu otomotiv, savunma ve havacılık gibi sektörlerde ürün değişiklikleri; maliyet, kalite, izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik üzerinde doğrudan etkiye sahip kritik süreçler arasında yer almaktadır. (Jarratt vd. 2011; Clarkson vd. 2017).

PLM yaklaşımı, ürünün fikir aşamasından kullanım ömrü sonuna kadar geçen tüm süreçlerin bütünleşik bir dijital yapı içerisinde yönetilmesini hedeflemektedir. Literatürde PLM; ürün verilerinin merkezi yönetimi, disiplinler arası iş birliği, değişikliklerin kontrol altına alınması ve karar alma süreçlerinin desteklenmesi açısından stratejik bir araç olarak tanımlanmaktadır. Ürün değişiklik yönetimi, PLM sistemleri içerisinde genellikle Değişiklik Talebi (Change Request – CR) ve Değişiklik Aksiyonu (Change Action – CA) mekanizmalarıyla yürütülmekte; bu sayede teknik, operasyonel ve yönetsel etkiler bütüncül olarak değerlendirilebilmektedir. (Stark; 2015; Terzi vd. 2010).

Konfigürasyon yönetimi literatürü ise ürün değişikliklerinin sürdürülebilir şekilde yönetilmesinde temel bir yapı taşı olarak öne çıkmaktadır. Konfigürasyon yönetimi; ürün konfigürasyonlarının tanımlanması, kontrol edilmesi, izlenmesi ve doğrulanmasını kapsayan sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Standartlarda (ör. ISO 10007, EIA-649) konfigürasyon yönetimi; ürün yaşam döngüsü boyunca değişikliklerin kontrollü ve izlenebilir biçimde uygulanmasını sağlayan bir yönetim disiplini olarak ele alınmaktadır. Literatürde özellikle Fonksiyonel Konfigürasyon Tetkiki (FCA) ve Fiziksel Konfigürasyon Tetkiki (PCA) uygulamalarının, ürün değişikliklerinin doğrulanması ve ürün bütünlüğünün korunması açısından kritik rol oynadığı vurgulanmaktadır. (ISO 10007; 2017; SAE EIA-649; 2014).

Son yıllarda döngüsel ekonomi kavramı, ürün değişiklik yönetimine yeni bir boyut kazandırmıştır. Döngüsel ekonomi yaklaşımı; kaynak verimliliğini artırmayı, ürünlerin kullanım ömrünü uzatmayı, yeniden kullanım, yeniden üretim ve geri dönüşüm stratejilerini desteklemeyi amaçlamaktadır. Literatürde ürün tasarımında ve değişiklik kararlarında döngüsel ekonomi ilkelerinin dikkate alınmasının; çevresel etkilerin azaltılması, karbon ayak izinin düşürülmesi ve sürdürülebilir değer zincirlerinin oluşturulması açısından önemli olduğu belirtilmektedir. Bu bağlamda, ürün değişiklikleri yalnızca teknik gereksinimler doğrultusunda değil, aynı zamanda çevresel ve sürdürülebilirlik kriterleri çerçevesinde de değerlendirilmelidir. (Geissdoerfer vd. 2017; Bocken vd. 2016).

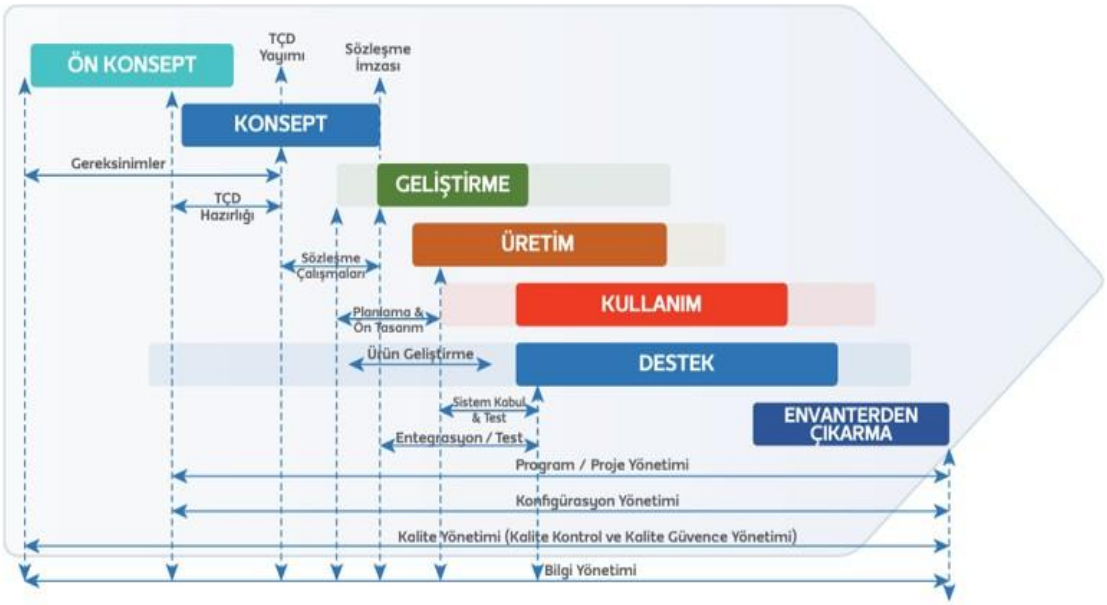
PLM, konfigürasyon yönetimi ve döngüsel ekonomi literatürünün kesişiminde yapılan çalışmalar, dijital dönüşümün ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Dijital PLM platformları sayesinde ürün verileri, değişiklik geçmişi ve konfigürasyon bilgileri tek bir kaynakta toplanabilmekte; böylece hem operasyonel verimlilik hem de sürdürülebilirlik hedefleri desteklenmektedir. Ancak literatürde, bu üç yaklaşımın entegre biçimde ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğu, özellikle uygulamaya dönük vaka analizlerine daha fazla ihtiyaç duyulduğu da ifade edilmektedir. (Kirchherr et al.; 2017).

Bu çalışma, mevcut literatürdeki bu boşluğu dikkate alarak; ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimini PLM, konfigürasyon yönetimi ve döngüsel ekonomi ekseninde bütüncül bir bakış açısıyla ele almayı amaçlamaktadır.

3. PLM (Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi) PERSPEKTİFİ

PLM, bir ürünün kavramsal tasarım aşamasından kullanım ömrü sonuna kadar geçen tüm süreçlerin, verilerin ve paydaş etkileşimlerinin bütüncül ve dijital bir çerçevede yönetilmesini amaçlayan stratejik bir yönetim yaklaşımıdır. PLM, yalnızca bir yazılım çözümü değil; aynı zamanda organizasyonel süreçleri, veri yönetişimini ve disiplinler arası iş birliğini kapsayan sistematik bir yönetim paradigması olarak değerlendirilmektedir (Stark, 2015).

PLM yaklaşımının temel amacı; ürünle ilişkili tüm bilginin tekil, tutarlı ve izlenebilir bir yapı içerisinde yönetilmesini sağlayarak, karar alma süreçlerinde bilgi kayıplarını ve tutarsızlıkları en aza indirmektir. Bu kapsamda PLM; ürün tanımı, teknik dokümantasyon, yapı ağaçları (EBOM/MBOM), değişiklik kayıtları, onay mekanizmaları ve yaşam döngüsü durumlarının bütünleşik biçimde ele alınmasına imkân tanır. Özellikle karmaşık ürün yapılarının söz konusu olduğu sektörlerde, PLM sistemleri ürün değişikliklerinin kontrolsüz yayılımını önleyen temel altyapı olarak öne çıkmaktadır (Stark, 2015; Grieves & Vickers, 2017; Terzi vd. 2010).



Görsel 1. PLM Kapsamında Ürün Yaşam Döngüsü Aşamaları, 2018

Ürün değişiklik yönetimi açısından bakıldığında, PLM sistemleri değişiklik taleplerinin (Engineering Change Request – ECR / Change Request – CR / Change Action- CA)

oluşturulması, değerlendirilmesi, onaylanması ve uygulanması süreçlerini standartlaştırılmış iş akışları ile destekler. Bu sayede bir değişikliğin; hangi ürün konfigürasyonlarını, hangi yaşam döngüsü safhasında ve hangi paydaşları etkilediği sistematik olarak analiz edilebilmektedir. Literatürde, PLM tabanlı değişiklik yönetiminin; maliyet artışlarını azalttığı, ürün geliştirme sürelerini kısalttığı ve kalite performansını iyileştirdiği yaygın biçimde rapor edilmektedir (Ameri & Dutta, 2005; Jarratt vd. 2011).

PLM'in değişiklik yönetimindeki bir diğer kritik rolü, yaşam döngüsü perspektifinin karar alma süreçlerine entegre edilmesidir. Geleneksel yaklaşımlarda değişiklikler çoğunlukla tasarım veya üretim aşamasına odaklanırken, PLM sistemleri ürünün kullanım, bakım, servis ve hizmet dışı bırakma safhalarındaki etkilerin de değerlendirilmesine olanak tanır. Bu durum, değişiklik kararlarının yalnızca kısa vadeli teknik kazanımlar yerine, uzun vadeli maliyet, performans ve sürdürülebilirlik kriterleri doğrultusunda şekillenmesini mümkün kılar.

Sürdürülebilirlik bağlamında PLM, ürün yaşam döngüsü boyunca kaynak kullanımının, enerji tüketiminin ve çevresel etkilerin izlenebilirliğini sağlayan kritik bir araçtır. PLM altyapısı sayesinde; malzeme bilgileri, parça ömürleri, yeniden kullanım potansiyelleri ve geri dönüştürülebilirlik verileri değişiklik yönetimi süreçlerine entegre edilebilmektedir. Bu yönüyle PLM, döngüsel ekonomi prensiplerinin ürün değişiklik kararlarına yansıtılmasında köprü görevi görmektedir (Kiritsis, 2011).

Ayrıca, dijital ikiz ve kapalı döngü (closed-loop) PLM yaklaşımları, değişikliklerin sanal ortamda simüle edilmesine ve olası etkilerinin önceden değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Bu durum, hatalı veya sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumsuz değişikliklerin erken aşamada tespit edilmesini sağlayarak, kaynak israfının ve çevresel etkinin azaltılmasına katkı sunmaktadır (Grieves & Vickers, 2017).

Sonuç olarak PLM, ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimi açısından yalnızca bir veri yönetim sistemi değil; konfigürasyon yönetimi ve döngüsel ekonomi yaklaşımlarıyla entegre edildiğinde stratejik değer üreten bir karar destek mekanizmasıdır. Bu bağlamda PLM perspektifi, sürdürülebilir ürün değişikliklerinin kurumsal düzeyde yönetilebilmesi için vazgeçilmez bir temel oluşturmaktadır.

4. KONFİGÜRASYON YÖNETİMİ VE DEĞİŞİKLİK KONTROLÜ

Konfigürasyon Yönetimi (Configuration Management – CM), bir ürünün fonksiyonel, fiziksel ve dokümantasyonel özelliklerinin yaşam döngüsü boyunca tanımlanması, kontrol edilmesi, izlenmesi ve doğrulanmasını amaçlayan sistematik bir yönetim disiplinidir. Konfigürasyon Yönetimi, ürünün onaylanmış konfigürasyonu ile fiilî durumu arasındaki tutarlılığın korunmasını sağlayarak, kontrolsüz değişikliklerin önüne geçmeyi hedefler. Özellikle yüksek mühendislik karmaşıklığına sahip sistemlerde, konfigürasyon yönetimi; ürün değişikliklerinin güvenilir, izlenebilir ve tekrarlanabilir biçimde yönetilmesi için vazgeçilmez bir yapı taşıdır (ISO 10007, 2017; EIA-649-1, 2019).

Konfigürasyon yönetiminin temel bileşenleri; konfigürasyon tanımlama, konfigürasyon kontrolü, konfigürasyon durum muhasebesi ve konfigürasyon doğrulama ve denetim olarak sınıflandırılmaktadır. Konfigürasyon tanımlama aşamasında, ürünün yapı ağacı, teknik

gereksinimleri ve temel performans özellikleri belirlenir. Bu tanımlar, ürünün yaşam döngüsü boyunca referans alınacak "temel konfigürasyon"u oluşturur. Konfigürasyon kontrolü ise bu temel yapı üzerinde gerçekleştirilecek her türlü değişikliğin yetkili mekanizmalar aracılığıyla değerlendirilmesini ve onaylanmasını kapsar.



Görsel 2. Geleneksel Konfigürasyon Yönetimi- Sempro

Değişiklik kontrolü süreçleri, konfigürasyon yönetiminin en kritik bileşenlerinden biri olup; mühendislik değişiklik taleplerinin (Engineering Change Request – ECR / Change Request – CR / Change Action- CA) sistematik biçimde ele alınmasını sağlar. Bu süreçlerde değişikliklerin teknik uygunluğu, maliyet etkisi, zaman çizelgesi, tedarik zinciri etkileri ve kalite riskleri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilir. Literatürde, etkili değişiklik kontrol mekanizmalarının; yeniden işleme oranlarını azalttığı, ürün tutarlılığını artırdığı ve organizasyonel öğrenmeyi desteklediği vurgulanmaktadır (Jarratt vd. 2011; Huang vd. 2003).

Konfigürasyon doğrulama ve denetim faaliyetleri, ürünün tanımlanan gereksinimlere ve onaylı konfigürasyona uygunluğunu değerlendirmeyi amaçlar. Bu kapsamda Fonksiyonel Konfigürasyon Denetimi (Functional Configuration Audit – FCA) ve Fiziksel Konfigürasyon Denetimi (Physical Configuration Audit – PCA), ürün değişikliklerinin doğrulanmasında kritik rol oynamaktadır. FCA, ürünün fonksiyonel gereksinimleri karşıladığını teyit ederken; PCA, ürünün fiilî yapısının teknik dokümantasyon ve üretim verileriyle uyumunu kontrol eder. Bu denetimler, sürdürülebilir değişiklik yönetimi açısından ürünün hem performans hem de izlenebilirlik boyutlarında güvence altına alınmasını sağlar (ISO 10007, 2017; EIA-649-1, 2019).

Sürdürülebilirlik perspektifinden bakıldığında, konfigürasyon yönetimi ve değişiklik kontrolü; ürün değişikliklerinin çevresel ve ekonomik etkilerinin izlenmesini mümkün kılan önemli araçlardır. Değişiklik kararları sırasında; malzeme türleri, parça ömürleri, yeniden kullanım ve geri dönüşüm potansiyelleri gibi kriterlerin değerlendirilmesi, döngüsel ekonomi hedefleriyle uyumlu çözümlerin geliştirilmesine katkı sunar. Konfigürasyon verilerinin sistematik olarak yönetilmesi, ürün yaşam döngüsü boyunca kaynak verimliliğinin artırılmasına ve atık oluşumunun azaltılmasına olanak tanır.

PLM sistemleri ile entegre edilen konfigürasyon yönetimi süreçleri, değişiklik kontrolünün dijital ve izlenebilir bir altyapı üzerinden yürütülmesini sağlar. PLM tabanlı iş akışları; değişiklik taleplerinin ilgili paydaşlara yönlendirilmesi, etki analizlerinin yapılması ve onay kayıtlarının saklanması gibi faaliyetleri standartlaştırır. Bu entegrasyon sayesinde konfigürasyon yönetimi, yalnızca mühendislik odaklı bir kontrol mekanizması olmaktan çıkarak; sürdürülebilirlik, kalite ve stratejik karar alma süreçlerini destekleyen bütüncül bir yönetim fonksiyonuna dönüşmektedir.

Sonuç olarak konfigürasyon yönetimi ve değişiklik kontrolü, ürün değişikliklerinin sürdürülebilir biçimde yönetilebilmesi için yapısal bir güvence mekanizması sunmaktadır. PLM altyapısı ve döngüsel ekonomi prensipleriyle birlikte ele alındığında, bu disiplinler; ürün değişikliklerinin uzun vadeli performans, maliyet ve çevresel etkilerinin dengeli biçimde yönetilmesine olanak tanımaktadır.

5. DÖNGÜSEL EKONOMİ ÇERCERVESİ

Döngüsel ekonomi, geleneksel doğrusal üretim ve tüketim modelinin (al–üret–kullan–at) yerine; kaynakların mümkün olan en uzun süre sistem içerisinde tutulmasını, atık oluşumunun en aza indirilmesini ve ürün değerinin yaşam döngüsü boyunca korunmasını amaçlayan bütüncül bir ekonomik ve endüstriyel yaklaşımdır. Bu yaklaşım, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda; çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları birlikte ele alan sistematik bir dönüşümü ifade etmektedir (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Döngüsel ekonomi çerçevesinin temelinde; yeniden kullanım (reuse), yeniden üretim (remanufacturing), geri dönüşüm (recycling) ve yaşam ömrü uzatma (life extension) ilkeleri yer almaktadır. Bu ilkeler, ürünlerin yalnızca ilk kullanım fazına odaklanmak yerine, tüm yaşam döngüsü boyunca değer üretmeye devam etmesini hedefler. Özellikle endüstriyel ürünlerde, tasarım ve değişiklik kararlarının bu ilkeler doğrultusunda alınması, kaynak verimliliğinin artırılmasında kritik rol oynamaktadır (Bocken vd. 2016).

Ürün değişiklikleri, döngüsel ekonomi yaklaşımı açısından stratejik bir müdahale noktası olarak değerlendirilmektedir. Bir ürün üzerinde gerçekleştirilen tasarım veya konfigürasyon değişikliği; ürünün modülerliğini, sökülebilirliğini, bakım kolaylığını ve yeniden kullanım potansiyelini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle değişiklik yönetimi süreçleri, yalnızca performans iyileştirme veya maliyet düşürme amacıyla değil; ürünün döngüsel yaşam senaryolarını destekleyecek şekilde kurgulanmalıdır. Literatürde, değişiklik kararlarının erken tasarım aşamalarında alınmasının, döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmada daha etkili olduğu vurgulanmaktadır (Geissdoerfer vd. 2017).

Endüstriyel üretim bağlamında döngüsel ekonomi, özellikle ağır sanayi, otomotiv ve savunma sektörlerinde; ürün güvenliği, regülasyonlar ve izlenebilirlik gereksinimleri nedeniyle daha karmaşık bir yapı arz etmektedir. Bu sektörlerde ürünlerin uzun kullanım ömrü, yüksek katma değerli bileşenler ve sıkı sertifikasyon süreçleri, döngüsel uygulamaların konfigürasyon yönetimi ve değişiklik kontrolü ile entegre biçimde ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Aksi hâlde, döngüsel ekonomi hedefleri ile ürün güvenliği ve kalite gereksinimleri arasında çatışmalar ortaya çıkabilmektedir.

Döngüsel ekonomi yaklaşımının etkin biçimde uygulanabilmesi, ürün yaşam döngüsü verilerinin bütüncül ve izlenebilir şekilde yönetilmesine bağlıdır. Bu noktada PLM sistemleri, ürün bileşenlerine ait malzeme bilgileri, kullanım geçmişi, bakım kayıtları ve geri kazanım potansiyellerinin izlenmesini sağlayarak döngüsel ekonomi uygulamalarının dijital omurgasını oluşturmaktadır. Konfigürasyon yönetimi ise bu verilerin doğruluğunu ve sürekliliğini güvence altına alarak, döngüsel yaşam senaryolarının güvenilir biçimde yönetilmesine katkı sunmaktadır (Kiritsis, 2011).

Ayrıca, döngüsel ekonomi çerçevesinde değişiklik yönetimi; ürünün farklı yaşam döngüsü safhalarında oluşabilecek teknik ve çevresel risklerin önceden öngörülmesini gerektirir. PLM tabanlı kapalı döngü (closed-loop) yaklaşımlar sayesinde, sahadan elde edilen geri bildirimler ve kullanım verileri, yeni değişiklik kararlarının girdisi olarak değerlendirilebilmektedir. Bu durum, ürünlerin sürekli iyileştirilmesini sağlarken, aynı zamanda kaynak kullanımının optimize edilmesine ve çevresel etkinin azaltılmasına olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak döngüsel ekonomi, ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimi açısından yalnızca çevresel bir hedef değil; PLM ve konfigürasyon yönetimi süreçleriyle bütünleştiğinde stratejik bir rekabet aracı hâline gelmektedir. Bu entegrasyon, ürün değişikliklerinin uzun vadeli değer yaratımına hizmet etmesini sağlayarak, sürdürülebilir ve dirençli endüstriyel sistemlerin oluşturulmasına katkı sunmaktadır.

6. ÜÇGENİN KESİŞİM NOKTALARI: PLM – KONFİGÜRASYON – DÖNGÜSEL EKONOMİ

Ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimi, tek başına bir yöntem ya da araçla sağlanabilecek bir hedef olmaktan ziyade; birden fazla disiplinin bütünleşik biçimde ele alınmasını gerektiren çok boyutlu bir problem alanıdır. Bu bağlamda PLM, Konfigürasyon Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi yaklaşımları, ürün değişikliklerinin hem teknik hem de sürdürülebilirlik boyutlarının yönetilmesinde tamamlayıcı roller üstlenmektedir. Söz konusu üç yaklaşımın kesişim noktasında, ürün değişikliklerinin izlenebilir, denetlenebilir ve uzun vadeli değer yaratımını destekleyen bir yönetim çerçevesi ortaya çıkmaktadır (Stark, 2015; Terzi vd. Kirchherr vd. 2017).

PLM, ürün yaşam döngüsü boyunca oluşturulan tüm verilerin merkezi ve tutarlı biçimde yönetilmesini sağlayarak, değişiklik süreçleri için dijital bir omurga sunmaktadır. Konfigürasyon yönetimi ise bu verilerin hangi ürün konfigürasyonlarına, hangi zaman aralıklarında ve hangi onay seviyeleriyle ait olduğunu tanımlayarak, değişikliklerin kontrol altına alınmasını mümkün kılar. Döngüsel ekonomi yaklaşımı ise değişiklik kararlarına çevresel ve kaynak verimliliği perspektifini entegre ederek, kısa vadeli optimizasyonların ötesinde uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerini ön plana çıkarmaktadır (Stark, 2015; ISO 10007, 2019; Grieves & Vickers, 2017).

Bu üç yaklaşımın kesişiminde ortaya çıkan temel unsur, yaşam döngüsü odaklı değişiklik karar alma mekanizmasıdır. PLM sistemleri aracılığıyla elde edilen yaşam döngüsü verileri, konfigürasyon yönetimi sayesinde doğru ürün yapılarına bağlanmakta ve döngüsel ekonomi ilkeleri doğrultusunda analiz edilmektedir. Böylece bir ürün değişikliği; yalnızca tasarım veya üretim safhasındaki etkileriyle değil, kullanım, bakım, yeniden kullanım ve geri kazanım aşamalarındaki sonuçlarıyla birlikte değerlendirilebilmektedir. Bu bütüncül bakış açısı,

sürdürülebilir değişiklik yönetiminin temelini oluşturmaktadır. (Stark, 2015; ISO 10007, 2019; Grieves & Vickers, 2017).

Üçgenin kesişim noktalarında bir diğer kritik unsur, izlenebilirlik ve şeffaflıktır. Konfigürasyon yönetimi, değişikliklerin hangi ürünlerde, hangi sürümlerde ve hangi yaşam döngüsü safhasında uygulandığını açık biçimde ortaya koyarken; PLM sistemleri bu bilgilerin kurumsal hafızada korunmasını sağlar. Döngüsel ekonomi açısından bakıldığında ise bu izlenebilirlik, ürün bileşenlerinin yeniden kullanım potansiyelinin değerlendirilmesi, geri dönüşüm süreçlerinin planlanması ve çevresel etki analizlerinin yapılması için vazgeçilmez bir gerekliliktir.

PLM–Konfigürasyon–Döngüsel Ekonomi üçgeninin kesişiminde ortaya çıkan bir diğer önemli boyut, karar destek mekanizmalarının güçlendirilmesidir. Değişiklik talepleri, PLM tabanlı iş akışları aracılığıyla teknik, mali ve çevresel kriterler açısından çok boyutlu olarak değerlendirilebilmektedir. Konfigürasyon yönetimi, bu değerlendirmelerin hangi ürün konfigürasyonlarını etkilediğini netleştirirken; döngüsel ekonomi metrikleri, kararların sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumunu ortaya koymaktadır. Bu sayede değişiklik kararları, sezgisel yaklaşımlar yerine veri temelli ve sistematik analizlere dayandırılmaktadır (Stark, 2015; Terzi vd. 2010; Kirchherr vd. 2017).

Ayrıca üçgen yaklaşımı, kapalı döngü (closed-loop) değişiklik yönetimi anlayışını desteklemektedir. Sahadan, bakım süreçlerinden veya kullanım verilerinden elde edilen geri bildirimler, PLM sistemleri üzerinden analiz edilerek yeni değişiklik taleplerine girdi oluşturmaktadır. Konfigürasyon yönetimi, bu geri bildirimlerin hangi ürün sürümleriyle ilişkili olduğunu belirlerken; döngüsel ekonomi perspektifi, söz konusu değişikliklerin ürün ömrünü uzatma ve kaynak kullanımını optimize etme potansiyelini değerlendirmektedir. Bu yapı, ürünlerin sürekli iyileştirilmesini ve sürdürülebilir performans artışını mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak PLM, konfigürasyon yönetimi ve döngüsel ekonomi yaklaşımlarının kesişiminde; ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimi için bütüncül ve ölçeklenebilir bir çerçeve ortaya çıkmaktadır. Bu üçgen yapı, ürün değişikliklerinin yalnızca teknik gereksinimlere yanıt veren operasyonel faaliyetler olarak değil; uzun vadeli çevresel, ekonomik ve stratejik değer yaratan süreçler olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda söz konusu entegrasyon, sürdürülebilir endüstriyel sistemlerin tasarımı ve yönetimi için kritik bir paradigma sunmaktadır (Stark, 2015; SAE EIA-649-1).

7. VAKA İNCELEMESİ: AĞIR VASITA AKS SİSTEMLERİNDE PLM TABANLI SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRÜN DEĞİŞİKLİĞİ YÖNETİMİ – EAT ÖRNEĞİ

Bu bölümde, ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetiminin endüstriyel bir uygulama bağlamında nasıl gerçekleştirildiğini göstermek amacıyla, otomotiv sektöründe ağır vasıta **güç** aktarım sistemleri geliştiren ve üreten Ege Araç Teknolojileri A.Ş. (EAT) bünyesinde ele alınan örnek bir vaka incelenmiştir. EAT, savunma sanayii araçlarına yönelik aks, diferansiyel ve transfer kutusu gibi güç aktarım alt sistemlerinin geliştirilmesini hedefleyen bir mühendislik ve üretim firmasıdır. Firma, yüksek dayanım, uzun hizmet ömrü ve güvenlik-kritik gereksinimlerin önceliklendirildiği ürünler geliştirmektedir.

Vaka kapsamında incelenen ürün, savunma sanayii araçlarında kullanılan bir aks sistemi bileşeni olup; son kullanıcı geri bildirimleri ve müşteri gereksinimleri doğrultusunda, belirli çalışma koşullarında aşınma hızının öngörülen tasarım değerlerinin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Bu durum, hem ürün performansı hem de bakım maliyetleri açısından bir iyileştirme ihtiyacını ortaya koymuştur. EAT bünyesinde bir değişiklik talebinin (Change Request – CR) oluşturulmasına neden olmuştur. İlgili değişiklik, yalnızca mekanik performansın artırılmasını değil; aynı zamanda parça ömrünün uzatılması ve çevresel etkilerin azaltılması hedeflerini de içermektedir.

Değişiklik süreci, EAT'de kullanılan 3DEXPERIENCE PLM platformu üzerinden resmi olarak başlatılmış ve yürütülmüştür. Bu kapsamda; mühendislik yayın süreçleri, değişiklik ve konfigürasyon yönetimi, varyant yönetimi, gereksinimlerin izlenmesi, ürün yapı ağaçlarının (EBOM) yönetimi, doküman yönetimi, issue (problem/sapma) yönetimi, proje yönetimi ve gant şeması ve revizyon yönetimi faaliyetleri, sistem içerisinde tanımlı rol ve lisans bazlı yetkilendirme mekanizmaları aracılığıyla kontrol altına alınmıştır. Söz konusu yapı, ürün ve mühendislik verilerinin yaşam döngüsü boyunca tutarlı, izlenebilir ve denetlenebilir biçimde yönetilmesini sağlamıştır.

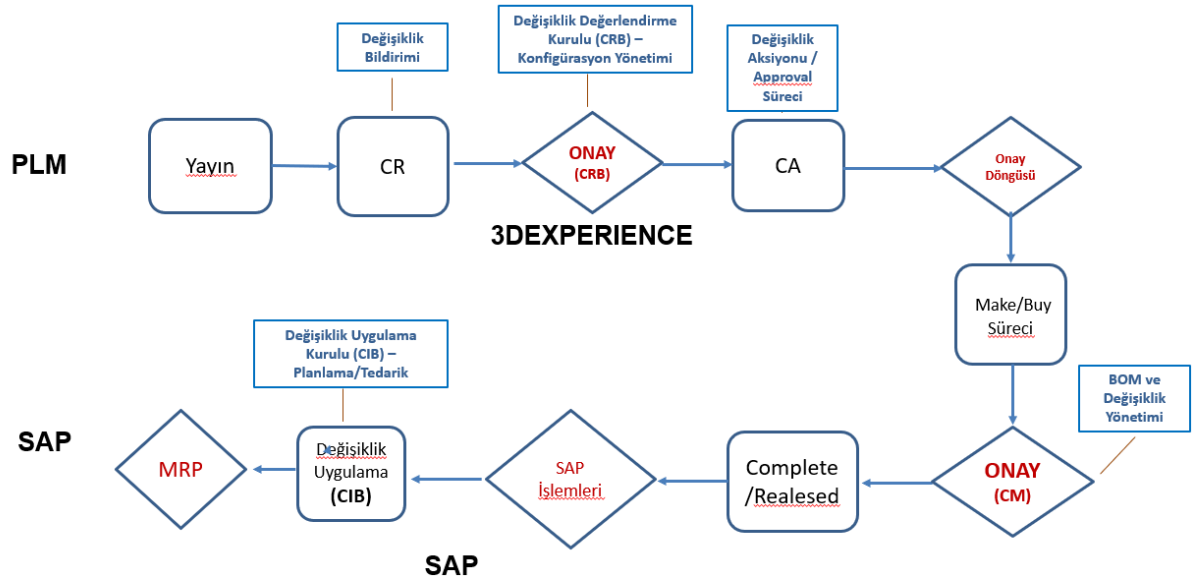
PLM sistemi aracılığıyla, önerilen tasarım değişikliğinin etkileyeceği aks konfigürasyonları, teknik resimler, malzeme tanımları ve mühendislik yapı ağaçları merkezi bir veri yapısı altında analiz edilmiştir. Bu aşamada değişikliğin, mevcut ürün ailesi içerisindeki hangi varyantları kapsadığı, hangi yaşam döngüsü safhalarında uygulanacağı ve mevcut seri üretim ürünleri üzerindeki etkileri detaylı biçimde değerlendirilmiştir. Böylece değişiklik kararları, yalnızca tasarım aşamasına değil; üretim, kullanım ve bakım safhalarını da kapsayan bütüncül bir perspektifle ele alınmıştır.

Üretim odaklı yapılandırmalar kapsamında, Üretim Ürün Ağaçları (MBOM)'nin yönetimi için SAP ERP sistemi kullanılmakta olup; değişiklik yönetimi, mühendislikten üretime yayın süreçleri, revizyon yönetimi ve MBOM güncellemeleri bu sistem üzerinden yürütülecek şekilde planlanmaktadır. SAP ERP altyapısı aracılığıyla yönetilen MBOM yapıları, üretim planlama, proses ve metot yönetimi, satın alma ve iş geliştirme stratejileri ile doğrudan ilişkilendirilmekte; böylece mühendislik değişikliklerinin üretim ve tedarik zinciri üzerindeki etkileri bütüncül olarak yönetilmektedir. Bu entegrasyon, ürün değişikliklerinin yalnızca teknik uygunluk açısından değil, operasyonel ve stratejik etkileri açısından da değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Konfigürasyon yönetimi süreçleri kapsamında, mevcut onaylı aks konfigürasyonu ile önerilen yeni konfigürasyon arasındaki farklar sistematik olarak tanımlanmıştır. Değişikliğin; aks gövdesinde kullanılan malzeme spesifikasyonu ve yüzey işlem parametreleri üzerinde yoğunlaştığı, ancak ürünün temel fonksiyonel gereksinimlerini değiştirmediği belirlenmiştir. Bu doğrultuda değişiklik, ilgili yetkili kurullar tarafından teknik uygunluk, maliyet etkisi ve üretilebilirlik kriterleri açısından değerlendirilmiş ve kontrollü biçimde onaylanmıştır. Değişiklik sonrasında gerçekleştirilen doğrulama faaliyetleri, aks sisteminin fonksiyonel gereksinimleri karşıladığını ve fiziksel ürünün teknik dokümantasyon ile uyumlu olduğunu ortaya koymuştur.

Tüm bu süreçler, 3DEXPERIENCE platformu üzerinde ENOVIA Change Change Execution modeli kullanılarak yürütülmüş; değişiklik süreci, Engineering Change Action (ECA) ile başlatılarak sırasıyla Change Review Board (CRB), Change Implementation Board (CIB) ve Configuratıon Control Board (CCB) kurullarının değerlendirme ve onaylarından geçirilmiş ve sistematik biçimde devreye alınmıştır. Görsel 2 ‘de şema gösteriminde detay verilmiştir.

Döngüsel ekonomi perspektifinden bakıldığında, EAT’de gerçekleştirilen bu tasarım değişikliği; ürünün kullanım ömrünün uzatılması ve geri dönüştürülebilir malzeme kullanım oranının artırılması açısından önemli kazanımlar sağlamıştır. Yeni tasarımda tercih edilen malzeme ve proses kombinasyonu, aks bileşeninin aşınma direncini artırarak parça değişim sıklığını azaltmış; böylece hem hammadde tüketimi hem de bakım faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etki düşürülmüştür. PLM sistemi üzerinden yapılan yaşam döngüsü değerlendirmeleri, değişikliğin ürün başına toplam malzeme tüketimi ve atık oluşumu üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermiştir.



Görsel 3. Değişiklik Yönetimi Akış Diyagramı, EAT 2025 Değişiklik Yönetimi Süreci

Bu vaka, EAT özelinde aks sistemi üretiminde; PLM tabanlı değişiklik yönetimi, konfigürasyon yönetimi disiplini ve SAP ERP üzerinden yönetilen MBOM yapıları ile döngüsel ekonomi prensiplerinin birlikte ele alınmasının pratikte nasıl değer ürettiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Değişiklik sürecinin dijital, izlenebilir ve kontrol edilebilir bir yapı üzerinden yürütülmesi; karar alma süreçlerinde şeffaflığı artırmış, farklı disiplinler arasındaki koordinasyonu güçlendirmiş ve sürdürülebilir ürün geliştirme hedeflerine doğrudan katkı sağlamıştır.

Sonuç olarak EAT’de ele alınan bu aks sistemi örneği, ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetiminin yalnızca çevresel bir kazanım değil; aynı zamanda ürün performansı, yaşam döngüsü maliyeti ve rekabet gücü açısından da stratejik bir avantaj sunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle vaka, PLM–Konfigürasyon–Döngüsel Ekonomi üçgeninin, SAP ERP destekli

üretim ve tedarik zinciri süreçleriyle entegre biçimde, ağır vasıta ve güvenlik kritik sistemlerde uygulanabilirliğini somut biçimde ortaya koymaktadır.

7. SÜRDÜRÜLEBİLİR DEĞİŞİKLİK YÖNETİMİ İÇİN DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Dijital dönüşüm, günümüzde ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimi açısından yalnızca operasyonel bir iyileştirme aracı değil; kurumsal süreçlerin yeniden yapılandırılmasını gerektiren stratejik bir dönüşüm olarak değerlendirilmektedir. Artan ürün karmaşıklığı, hızlanan değişiklik talepleri ve sürdürülebilirlik odaklı regülasyonlar, değişiklik yönetimi süreçlerinin dijital, bütüncül ve veri temelli bir altyapı üzerinden yürütülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda dijital dönüşüm, ürün değişikliklerinin planlanması, uygulanması ve izlenmesinde karar alma kalitesini artıran temel bir kaldıraç görevi üstlenmektedir (Vial, 2019; Westerman vd. 2014; Stark, 2015).

Sürdürülebilir değişiklik yönetimi için dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri, PLM tabanlı dijital omurganın oluşturulmasıdır. PLM sistemleri, ürün yaşam döngüsü boyunca oluşturulan mühendislik, kalite ve değişiklik verilerinin merkezi olarak yönetilmesini sağlayarak, değişiklik süreçlerinde veri tutarlılığı ve izlenebilirlik sunmaktadır. Konfigürasyon yönetimi, değişikliklerin hangi ürün yapılarını ve varyantlarını etkilediğini netleştirirken; dijital iş akışları, yetkilendirme ve onay süreçlerinin standartlaştırılmasına olanak tanımaktadır. Bu yapı, değişikliklerin kontrolsüz yayılımını önleyerek sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu kararların alınmasını desteklemektedir (Stark, 2015; Terzi vd. 2010; ISO 10007, 2019).

Dijital dönüşümün bir diğer kritik boyutu, PLM ve ERP sistemleri arasındaki entegrasyondur. Mühendislik ürün ağaçlarının (EBOM) PLM sistemleri üzerinden yönetilmesi, üretim ürün ağaçlarının (MBOM) ise ERP altyapıları aracılığıyla planlama ve üretim süreçlerine aktarılması, değişiklik yönetiminin uçtan uca dijital olarak yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Bu entegrasyon sayesinde, mühendislik değişikliklerinin üretim planlama, proses metot, satın alma ve tedarik zinciri üzerindeki etkileri eş zamanlı olarak değerlendirilebilmekte; sürdürülebilirlik açısından kritik olan kaynak kullanımı ve operasyonel verimlilik göstergeleri karar süreçlerine entegre edilebilmektedir (Sudarsan vd. 2005; Stark, 2015; Schuh vd. 2017).

Sürdürülebilir değişiklik yönetimi bağlamında dijital dönüşüm, yalnızca mevcut süreçlerin dijitalleştirilmesiyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda kapalı döngü (closed-loop) geri besleme mekanizmalarının kurulmasını da içermektedir. Sahadan, bakım süreçlerinden ve kullanım verilerinden elde edilen geri bildirimler, PLM sistemleri üzerinden analiz edilerek yeni değişiklik taleplerinin girdisi hâline getirilmektedir. Bu yaklaşım, ürünlerin sürekli iyileştirilmesini sağlarken, parça ömrünün uzatılması ve atık oluşumunun azaltılması gibi döngüsel ekonomi hedeflerine doğrudan katkı sunmaktadır (Grieves & Vickers, 2017; Bocken et al., 2016; Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Dijital dönüşümün ileri aşamalarında, dijital ikiz, yaşam döngüsü analizleri ve veri analitiği gibi teknolojiler, değişiklik yönetimi süreçlerine önemli katma değer sağlamaktadır. Dijital ikiz uygulamaları sayesinde, önerilen değişikliklerin performans, dayanım ve çevresel etki üzerindeki sonuçları fiziksel uygulamaya geçmeden önce sanal ortamda değerlendirilebilmektedir. Bu durum, hatalı veya sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumsuz değişikliklerin erken aşamada elenmesini sağlayarak kaynak israfını önlemektedir (Grieves & Vickers, 2017; ISO 14040, 2006; Tao vd. 2019).

Kurumsal açıdan bakıldığında, sürdürülebilir değişiklik yönetimi için dijital dönüşüm; organizasyonel rollerin, yetkinliklerin ve yönetişim mekanizmalarının da yeniden ele alınmasını gerektirmektedir. Rol ve lisans bazlı yetkilendirme yapıları, değişiklik süreçlerinde sorumlulukların netleşmesini sağlarken; disiplinler arası iş birliğini ve kurumsal öğrenmeyi desteklemektedir. Bu yönüyle dijital dönüşüm, yalnızca teknolojik bir yatırım değil; sürdürülebilirlik odaklı bir yönetim kültürünün tesis edilmesini ifade etmektedir.

Sonuç olarak sürdürülebilir değişiklik yönetimi için dijital dönüşüm, PLM ve ERP entegrasyonu, konfigürasyon disiplini ve döngüsel ekonomi prensiplerinin birlikte ele alındığı bütüncül bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Bu yaklaşım, ürün değişikliklerinin çevresel, ekonomik ve operasyonel etkilerinin dengeli biçimde yönetilmesine olanak tanıyarak, endüstriyel işletmeler için uzun vadeli sürdürülebilir rekabet avantajı yaratmaktadır (Stark, 2015; Kirchherr vd. 2017; Porter & Kramer, 2011).

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ürün değişikliklerinin sürdürülebilir yönetimi; PLM, Konfigürasyon Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi yaklaşımlarının bütünleşik değerlendirilmesiyle ele alınmıştır. Bulgular, değişiklik kararlarının yalnızca maliyet ve kalite odaklı değil; ürün yaşam döngüsü boyunca kaynak verimliliği ve çevresel etki kriterleriyle birlikte yönetilmesi gerektiğini göstermektedir.

EAT örnek vakasında, değişikliklerin 3DEXPERIENCE PLM üzerinden izlenebilir ve denetlenebilir biçimde yürütülebildiği; üretim odaklı yapıların ise SAP ERP üzerinden MBOM yönetimiyle ilişkilendirilerek planlama, proses-metot, satın alma ve tedarik zinciri süreçlerine etkilerinin bütüncül şekilde değerlendirilebildiği ortaya konmuştur. Bu sonuç, sürdürülebilir değişiklik yönetiminin kurumsal ölçekte uçtan uca entegrasyon gerektirdiğini doğrulamaktadır.

Sonuç olarak; sürdürülebilirlik göstergelerinin değişiklik değerlendirme kriterlerine dahil edilmesi, PLM–ERP entegrasyonunun güçlendirilmesi ve saha geri bildirimlerini içeren kapalı döngü veri yönetiminin kurulması önerilmektedir. Ayrıca dijital ikiz ve yaşam döngüsü analizi temelli karar destek mekanizmalarının değişiklik kurullarında kullanılması, sürdürülebilirlik odaklı karar kalitesini artıracaktır.

KAYNAKÇA

1. Ameri, F. ve Dutta, D., *Product Lifecycle Management: Closing the Knowledge Loops*, Computer-Aided Design and Applications, 2(5), 577–590, 2005.
2. Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C. ve van der Grinten, B., *Product Design and Business Model Strategies for a Circular Economy*, Journal of Industrial and Production Engineering, 33(5), 308–320, 2016.
3. Clarkson, P.J., Simons, C. ve Eckert, C., *Predicting Change Propagation in Complex Design*, Journal of Mechanical Design, 139(3), 031101, 2017.
4. Elkington, J., *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*, Capstone Publishing, Oxford, 1997.
5. Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy*, https://ellenmacarthurfoundation.org (Erişim tarihi: 15.12.2025).
6. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P. ve Hultink, E.J., *The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm?*, Journal of Cleaner Production, 143, 757–768, 2017.
7. Grieves, M. ve Vickers, J., *Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems*, Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, Springer, 2017.
8. Huang, G.Q., Yee, W.Y. ve Mak, K.L., *Current Practice of Engineering Change Management in Hong Kong Manufacturing Industries*, Journal of Materials Processing Technology, 139(1–3), 481–487, 2003.
9. ISO 10007, *Quality Management Systems – Guidelines for Configuration Management*, International Organization for Standardization, Geneva, 2017.
10. Jarratt, T.A.W., Eckert, C.M., Caldwell, N.H.M. ve Clarkson, P.J., *Engineering Change: An Overview and Perspective on the Literature*, Research in Engineering Design, 22(2), 103–124, 2011.
11. Kirchherr, J., Reike, D. ve Hekkert, M., *Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions*, Resources, Conservation and Recycling, 127, 221–232, 2017.
12. Kiritsis, D., *Closed-Loop PLM for Intelligent Products in the Era of the Internet of Things*, Computer-Aided Design, 43(5), 479–501, 2011.
13. Porter, M.E. ve Kramer, M.R., *Creating Shared Value*, Harvard Business Review, 89(1–2), 62–77, 2011.
14. SAE EIA-649-1, *Configuration Management Requirements for Defense Contracts*, SAE International, Warrendale, 2019.
15. Schuh, G., Prote, J.P., Luckert, M. ve Schmitz, S., *Lean Innovation – Introducing Value-Oriented Change Management*, Procedia CIRP, 50, 3–8, 2017.
16. Stark, J., *Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking*, Springer-Verlag, London, 2015.
17. Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M. ve Kiritsis, D., *Product Lifecycle Management – From Its History to Its New Role*, International Journal of Product Lifecycle Management, 4(4), 360–389, 2010.
18. Vial, G., *Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda*, The Journal of Strategic Information Systems, 28(2), 118–144, 2019.
19. Westerman, G., Bonnet, D. ve McAfee, A., *Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation*, Harvard Business Review Press, Boston, 2014.

TÜRKMENİSTAN MOBİLYA SEKTÖRÜ- EKONOMİ, DIŞ TİCARET VE GİRİŞİMCİLİK

Gulzira GULMURATOVA

Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü ABD., gulgulzire@gmail.com- https://orcid.org/0009-0000-9376-4971

Dr. Öğr. Üyesi Belgin ŞEKER HIRÇIN

Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü ABD., belginseker@karabuk.edu.tr-https://orcid.org/0000-0001-7704-4544

ÖZET

Türkmenistan'da uzun yıllar hidrokarbonlara dayalı olan ekonomi, son dönemde çeşitlendirme politikaları doğrultusunda imalat sanayine yönelmiş ve bu bağlamda mobilya sektörü stratejik bir konuma gelmiştir. Konut inşaatındaki artış, refah seviyesindeki yükselme ve ithalatı azaltma politikaları, sektöre olan iç talebi ciddi biçimde artırmıştır. Devlet destekli girişimcilik politikaları çerçevesinde özel sektör öncülüğünde gelişen mobilya sanayi, modern üretim teknolojileriyle desteklenerek yerli üretimin güçlenmesi sağlanmıştır. İthalat ikamesi stratejileri çerçevesinde, ithal mobilyalara uygulanan yüksek vergiler ve yerli üretime sağlanan teşvikler sayesinde iç pazarda yerli ürünlerin payı artmış, mobilya ithalatı son yıllarda önemli ölçüde azalmıştır. Ancak sektördeki ihracat henüz sınırlı düzeydedir. Türkmenistan mobilya sektörü, katma değer yaratma, istihdam sağlama, döviz tasarrufu ve ihracat potansiyeli gibi yönleriyle ekonomik dönüşümün önemli bir aracı haline gelmiştir. Sektör, sanayileşme sürecinde stratejik bir rol oynamakta olup, sürdürülebilir büyüme hedefleri doğrultusunda gelişimini sürdürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Türkmenistan, Mobilya, İthalat, İhracat, Girişimcilik, Teknoloji, İstihdam, Sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

The economy of Turkmenistan, which has been predominantly based on hydrocarbons for many years, has recently shifted towards manufacturing industries in line with diversification policies. In this context, the furniture sector has assumed a strategic position. The increase in residential construction, the rise in the standard of living, and policies aimed at reducing imports have significantly boosted domestic demand for the sector. Under state-supported entrepreneurial policies, the furniture industry, which has developed under the leadership of the private sector, has been strengthened by modern production technologies. Within the framework of import substitution strategies, the high tariffs imposed on imported furniture and the incentives provided for domestic production have led to an increase in the market share of local products, while furniture imports have significantly decreased in recent years. However, exports from the

sector remain limited. The furniture sector in Turkmenistan has become an important tool in economic transformation with its potential for value addition, job creation, foreign exchange savings, and export potential. The sector plays a strategic role in the industrialization process and continues to develop in line with sustainable growth objectives.

Keywords: Turkmenistan, Furniture, Import, Export, Entrepreneurship, Technology, Employment, Sustainability.

1. GİRİŞ

Türkmenistan ekonomisi, uzun yıllar hidrokarbonlara dayansada son dönemde uygulanan çeşitlendirme ve ithal ikamesi politikalarıyla imalat sanayine yönelmektedir. Bu bağlamda mobilya sektörü, iç talep odaklı büyüyen stratejik bir alandır. Konut inşaatındaki artış ve refah düzeyinin yükselmesi, mobilya talebini önemli ölçüde artırmış, tüketiciler yerli üretime yönelmiştir (Türkmenistan Today, 2022). Hükümet, sanayi ve üretici alanları öncelikli sektörler arasına alarak kurumsallaşmayı ve modern üretim tekniklerini teşvik etmiştir (Kwon ve Mah, 2021). Türkmenistan Sanayiciler ve Girişimciler Birliği (TSGB) sayesinde özel sektörün payı artmış, son on yılda 500'ün üzerinde özel üretim şirketi kurulmuştur (Embassy of India, 2021). Ancak, Türkmenistan'da ormanlık alanın sınırlı olması (yaklaşık %8,6), mobilya üretiminde yerli hammadde arzını yetersiz kılmakta; bu durum sektörü büyük ölçüde ithal orman ürünlerine bağımlı hale getirmektedir (The Global Economy, 2023; KİP, 2023). Geleneksel motiflerin kullanımı sektöre kültürel kimlik kazandırırken bölgesel ihracat potansiyelini artırmaktadır (Atanova, 2021).

Bu makalede, Türkmenistan mobilya sektörünün ekonomik etkisi kapsamlı biçimde analiz edilecek, sektörün katma değer, istihdam ve sanayi gelişimine katkıları değerlendirilecek, girişimcilik politikaları, teknolojik gelişmeler, ihracat-ithalat verileriyle dış ticaret dengesi ve ithalat ikamesi başarısı incelenecektir.

2. MOBİLYA SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ VE ÜRETİM YAPISI

Türkmenistan mobilya sektörü, 2010'lu yılların sonlarından itibaren özel girişimciler öncülüğünde hızlı bir büyüme sürecine girmiş, ağaç işleme ve mobilya imalatı 2020 yılında %23,7 oranında büyüme kaydetmiştir (Biznes Türkmenistan, 2021; Türkmenstat, 2021). Orman varlığının kısıtlı olması nedeniyle yerli üreticiler geleneksel kerestenin yanı sıra, pamuk sapı gibi tarımsal atıklardan da yararlanmaktadır. Örneğin, Mary vilayetinde açılan sunta üretim tesisi, ithalatı azaltan ve çevre dostu levhalar üretmektedir (Biznes Türkmenistan, 2021). Üretimin büyük çoğunluğu, TSGB üyesi özel şirketler tarafından yapılmakta ve devlet teşvikleriyle teknoloji entegrasyonu sağlanmaktadır (Rejepova, 2022). Aýbölek (2010), Avrupa ekipmanlarıyla kurulan ilk büyük özel üreticidir (Rejepova, 2022) ve kalitesi sayesinde 2022'de "Quality Choice Prize" ödülünü almıştır (Business Türkmenistan, 2022). Özellikle devlet kurumlarının mobilya ihtiyacını karşılamada önemli rol oynar. Diğer önemli firmalar arasında Abrayly Önüm ve Çigildem (döşemeli mobilyada uzmanlaşmış) yer almaktadır (Rejepova, 2022).

3. TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE ÜRETİMDE VERİMLİLİK

Türkmenistan, mobilya sektöründe modern teknolojileri teşvik ederek kalite ve verimlilik artışı sağlamayı hedeflemektedir. Yeni tesislerde otomasyon ve dijital üretim teknikleri yaygınlaşmıştır. Lebap velayetindeki Asman işletmesi lazer kesim ekipmanlarıyla yüksek hassasiyette üretim yaparken (Invest Turkmenistan, 2020), Türkmen Çarwa'da bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve imalat (CAM) teknikleri uygulanmakta ve işlemler otomatikleştirilmektedir (Urayev, 2021). Hükümet, teknolojik yenilenmeyi hızlandırmak için sanayi ekipmanları ithalatına yönelik çeşitli mali kolaylıkları sağlamaktadır (Berdiyev, 2023). Üreticiler, tasarım eğilimlerini ve sektörel gelişmeleri takip ederek milli motifleri modern tasarımlarla birleştiren özgün ürünler geliştirmeye başlamıştır (Rejepova, 2022; Atanova, 2021). Teknolojik gelişmeler, el işçiliğinden seri üretime geçişi hızlandırmış, maliyet avantajı yaratarak yerli üretimin ithal muadillerine karşı rekabet gücünü artırmıştır.

4. DIŞ TİCARET DENGESİ

Mobilya sektöründe Türkmenistan'ın dış ticaret dengesi uzun süre ithalat lehine açık vermiş, ancak ithal ikameci politikalarla bu açık kısmen azalma eğilimine girmiştir. Geçmişte talep büyük ölçüde ithalatla karşılanmış; fuarlarda İstikbal (Türkiye), Camelgroup (İtalya), Hosen (Çin) gibi yabancı markaların ürünleri sergilenmiştir (TDH, 2017). Türkiye, 2024 yılının ilk 9 ayında %7,3 artışla 38,8 milyon ABD doları mobilya ihracatıyla en büyük tedarikçidir (Business Media, 2024). Çin ve İtalya da önemli tedarikçilerdir. Hükümet, ithalat bağımlılığını azaltmak için korumacı tedbirler uygulamaktadır. İthal mobilyalara Türkmenistan gümrük mevzuatı uyarınca %100'e varan gümrük vergileri uygulanmaktadır (Embassy of India, 2021). Bu sayede, 2024 ilk çeyreğinde mobilya ithalat değeri belirgin bir (%49,9) oranında düşmüştür (Trapeznikov, 2024). İhracat hacmi sembolik düzeydedir. Ancak Aýbölek, 2022 yılında Kazakistan ve Özbekistan'daki eğitim kurumlarına sevkiyat yaparak bölgesel pazarda ilk adımları atmıştır (Atavatan Türkmenistan, 2023).

5. DEVLET POLİTİKALARI VE EKONOMİK ETKİ ANALİZİ

Devlet, 2022–2028 Sosyo-Ekonomik Kalkınma Programı ile yerli üretimi ve pazar payını artırmayı hedeflemektedir (Berdiyev, 2023: 44-53). Politika mekanizmaları arasında yüksek gümrük vergileri, düşük faizli yatırım kredileri, arazi tahsisi ve Akköprü Sanayi Bölgesi'nde olduğu gibi vergi muafiyetleri yer almaktadır (Türkmenistan Yatırım Ajansı, 2022). Sosyal konut projelerinde yerli mobilya kullanımının teşvik edilmesi sabit talep yaratarak döviz tasarrufuna katkıda bulunmaktadır **(**Rejepova, 2022). Mobilya sektöründeki ithalat düşüşü, ülkenin toplam ithalatının gerilemesinde (%11,9 düşüş) ve dış ticaret dengesinin pozitif seyretmesinde etkilidir (Trapeznikov, 2024: 65-73). Sektör, %23,7'lik büyüme oranı (2020) ile GSYİH ve istihdama katkı sağlamakta, KOBİ'lerin GSYİH içindeki payı 2025'te %50'ye yaklaşmaktadır (Berdiyev, 2023). Döviz kuru kısıtlamaları ithal girdi teminini zorlaştırsada hükümet döviz tahsis mekanizmasıyla sorunu hafifletmeye çalışmaktadır (International Monetary Fund, 2024).

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Türkmenistan mobilya sektörü, ithalat ikamesi ve devlet-özel sektör iş birliği çerçevesinde gelişim göstermektedir. İç talebin son dönemlerde yerli üretimle karşılanmasının sonucunda, ithalata bağımlılığın azaltılması devlet politikalarıyla birlikte değerlendirilmektedir. Sektörün sürdürülebilirliği için zorluklar devam etmektedir: Hammadde Bağımlılığı (kısıtlı orman varlığı). Markalaşma ve İnovasyon (uluslararası markalaşma stratejileri önerisi) ve Finansman (ihracat odaklı ek teşvik ihtiyacı). Eğer belirlenen stratejiler etkin bir biçimde uygulanırsa, Türkmenistan mobilya endüstrisi yakın gelecekte bölgesel pazarlara açılma potansiyelinin olduğu değerlendirilmektedir.

7. KAYNAKÇA

Türkmenistan Today. (2022). Housing construction and domestic demand trends in Turkmenistan. Türkmenistan Today.

Kwon, H., & Mah, J. S. (2021). Diversification and industrialization in the economic development of Turkmenistan. Perspectives on Global Development and Technology, 20(4), 358–375. https://doi.org/10.1163/15691497-12341592

Embassy of India. (2021). Turkmenistan: Economic and commercial brief. Embassy of India in Ashgabat.

The Global Economy. (2023). Forest area – Turkmenistan. https://www.theglobaleconomy.com

KİP. (2023). Türkmenistan ülke profili. https://kolayihracat.ticaret.gov.tr

Atanova, S. (2021). Imagined community and Turkmen artisanry: A day in the Altyn Asyr Bazaar. Bulletin of IICAS.

Biznes Türkmenistan. (2021). Furniture and wood-processing industry growth in Turkmenistan. Biznes Türkmenistan.

Türkmenstat. (2021). Statistical yearbook of Turkmenistan. State Committee of Statistics of Turkmenistan.

Rejepova, O. (2022, March 25). Furniture business in Turkmenistan. Golden Age Online Gazette. https://turkmenistan.gov.tm

Ozbekov, N., Ishanow, M., & Sahetliyev, G. (2025). Development of a promising industry. Образование и наука в XXI веке, (58–3).

Business Türkmenistan. (2022). Quality Choice Prize awarded to Aýbölek enterprise. Business Türkmenistan.

Invest Turkmenistan. (2020). Industrial enterprises and modern production technologies. https://invest.gov.tm

Urayev, M. (2021). Expansion of furniture production. Golden Age Online Gazette. https://turkmenistan.gov.tm/en/post/57047/expansion-furniture-production

TDH (Türkmenistan Devlet Haber Ajansı). (2017, February 22). The development of Turkmenistan's trade sector reflects the successful solution of import substitution. https://tdh.gov.tm/en/post/5163

Business Media. (2024). Turkey furniture export statistics. https://bm.ge

Trapeznikov, V. (2024). Turkmenistan expanded diversification of foreign trade. CentralAsia.news. https://centralasia.news

Atavatan Türkmenistan. (2023). Türkmenistanda hususy kärhanalaryň sebitara eksport başlangyçlary. Atavatan Türkmenistan, 31, 22–34.

Berdiyev, B. (2023). Factors of economic stability. Türkmenistan Halk Maslahaty (Halk Konseyi) Resmî Web Sitesi. https://maslahat.gov.tm

Türkmenistan Investment Agency. (2022). Industrial zones and investment incentives in Turkmenistan. https://invest.gov.tm

International Monetary Fund. (2024). Turkmenistan: Article IV consultation—Staff report. https://www.imf.org

ÖZBEKİSTAN MOBİLYA ENDÜSTRİSİNİN EKONOMİK POTANSİYELİ VE GELECEĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Belgin ŞEKER HIRÇIN
Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü ABD.,
belginseker@karabuk.edu.tr-https://orcid.org/0000-0001-7704-4544

ÖZET

Özbekistan mobilya endüstrisi son yıllarda önemli bir gelişme kaydetmiş ve ekonomik büyümesinde kritik bir rol oynamaktadır. Ülkenin geleneksel üretimi ve güçlü kültürel mirası, mobilya üretimi için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Özbekistan'ın mobilya endüstrisi, geleneksel el sanatları ve modern tasarımın birleşimini yansıtmaktadır. El işçiliği ustalığı, özellikle el yapımı mobilyalarda belirgin bir şekilde görülmekte ve sektöre özgünlük katmaktadır. Özbekistan hükümeti, son yıllarda mobilya endüstrisini desteklemek için çeşitli politikalar geliştirmiştir. Artan yatırım, finansal destek ve ihracat teşvikleri, mobilya endüstrisindeki büyümeyi destekleyen temel faktörler arasındadır. Gelecek yıllarda, bu endüstrideki yenilikler ve yatırımlar, Özbekistan'ın ekonomisi için önemli bir katkı sağlamaya devam edecektir.

Anahtar Kelimeler: Özbekistan, Mobilya, İhracat, Yatırım.

ABSTRACT

Uzbekistan's furniture industry has made significant progress in recent years and plays a critical role in its economic growth. The country's traditional manufacturing and strong cultural heritage offer significant potential for furniture production. Uzbekistan's furniture industry reflects a blend of traditional craftsmanship and modern design. The craftsmanship of handiwork is particularly evident in handmade furniture, adding a unique character to the industry. The Uzbek government has developed various policies in recent years to support the furniture industry. Increased investment, financial support, and export incentives are among the key factors supporting growth in the furniture industry. In the coming years, innovations and investments in this industry will continue to make a significant contribution to Uzbekistan's economy.

Keywords: Uzbekistan, Furniture, Export, Investment.

1. GİRİŞ

Orta Asya'nın merkezinde bulunan Özbekistan'ın komşuları Kazakistan, Afganistan, Kırgızistan, Tacikistan ve Türkmenistan olup yüzölçümü 447.400 km²'dir. Ülke güneybatıdaki Ceyhun ile kuzeydoğudaki Seyhun ırmakları arasında uzanan toprakların büyük bölümünü kapsar (TÜRKTOB, 2024). Ülkenin ekonomisi oldukça çeşitlidir ve genç bir nüfusa sahiptir. Topraklarının %46'sı yayla ve bozkırlardan oluşurken, %41'i çöl ve diğer arazi tiplerinden oluşur. Ülkenin toplam kara alanının %3' ü orman ve koruluktan oluşurken, %10' u tarıma elverişlidir (KUTSO, 2024). 19. yüzyılın başlarında Sovyet politikaları (SSCB) çerçevesinde Özbekistan ekonomisi tarım ağırlıklıdır (TB, 2021). 1991'de SSCB'nin dağılmasından bu yana bağımsız olan bu ülkede, liberalleşme politikaları, iyileştirilmiş yatırım ortamı ve altyapı geliştirme yoluyla ekonomik görünümünü dönüştürmede önemli adımlar attı. Bu dönüşümün odak noktalarından biri, geleneksel olarak ulusal ekonomide önemli bir rol oynayan hafif sanayi sektörünün canlandırılması olmuştur (Ernesovich, 2025). Ayrıca, Özbekistan ekonomisinde sanayinin ilerlemesi, ülkenin rekabet avantajı sağlamak için gerekli olan iş gücü, maddi kaynaklar ve entelektüel sermaye gibi unsurlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Kurt, 2019). Sanayinin gelişmesinde en önemli faktör petrol, gaz üretimi, rafinaj, mühendislik, otomotiv, tekstil gibi temel endüstrilere yatırım ve devlet desteği olmuştur (İTO, 2024). Mühendislik ürünler kapsamına giren mobilya, binaların iç mekanlarına sonradan eklenen ve çeşitli ihtiyaçları karşılamak üzere tasarlanmış eşyalardır (Yavuz, 2021). Mobilya üretiminde; kaplama, yonga levha, lif levha, kontrplak, kontratabla gibi ahşap levha ürünleri (Yurdakul vd., 2013), plastikler, metaller ve çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır (Arık, 2023). Bu çalışmanın temel amacı, Özbekistan Cumhuriyetinin mobilya endüstrisinin genel durumunu analiz etmek ve ithalat-ihracat verilerini incelemektir.

2. ÖZBEKİSTAN CUMHURİYETİNİN MOBİLYA ENDÜSTRİSİ

Özbekistan Cumhuriyeti'nin mobilya ve ağaç işleme sektöründe önemli bir büyüme gözlemlenmektedir. Önceki yıllarda iç piyasada yabancı ürünlerin payı %65-70 civarında iken, günümüzde talebin %90'ından fazlası yerel üretimle karşılanmaktadır. Yapılan genel analiz, mobilya üretiminde Taşkent şehri ve beş bölgenin (Taşkent, Fergana, Semerkand, Namangan ve Kaşkaderya) öncü rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Bu bölgeler, ülke genelindeki mobilya üretiminin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Ayrıca, son zamanlarda Cizzak ve Nevai bölgelerinde de mobilya üretiminin artış göstermesi dikkat çekmektedir (Musaeva vd., 2020). Özbekistan mobilya endüstrisi, geleneksel el sanatları ve modern tasarımın birleşimini yansıtmaktadır (Makhmudova ve Makhmudova, 2017; Ostonov vd., 2020). 2021 yılında üretilen mobilyaların bölgelere göre satışlardaki payı ise şu şekildedir: Taşkent şehrine- 377,1 milyon Özbek somu, Fergana bölgesine- 94,8 milyon Özbek somu, Karşi şehrine- 679,3 milyon Özbek somu ve Buhara şehrine- 103,0 milyon Özbek somu' dur (Norbutaev ve Sultan, 2025). Yerel mobilya ürünleri, sosyal tesislerin özel ihtiyaçlarını karşılayarak güçlü bir rekabet ortamı yaratmakta ve bu sayede modern teknolojilerin kullanılmasını teşvik etmektedir. Üretilen mobilya yelpazesi, uluslararası standartlara yaklaşırken, tasarımlar en son pazar trendlerine uyum sağlamaktadır (Musaeva vd., 2020). Özbekistan'daki mobilya şirketleri üretimde yerel malzemeler kullansa da ürünlerinin bağlantı parçalarını, aksesuarlarını ve bileşenlerini Rusya, Çin ve Türkiye'den ithal etmektedir (Kenzhetayeva, 2025). Ayrıca, Özbekistan'da yıllık olarak toplamda 31 milyon metreküp kereste üretilmekte, ancak bu miktarın büyük bir kısmı mobilya

endüstrisinde ham madde olarak kullanılamamaktadır. Bu nedenle, endüstrideki işletmeler ithal ahşap kullanmaya mecbur kalmaktadır. Bu durum, tedarikçilerin özel bir rekabet avantajı olarak ele alınmasını gerektirmektedir (Ilkhomovna, 2024). Aşağıdaki Tablo 1'de Özbekistan'ın ülkemizden ve dünyadan ithal ettiği ahşap bazdaki bazı ürünlerin verileri verilmiştir.

Çizelge 1. 2022-2024 yıllarında Özbekistan'ın Türkiye'den ve dünyadan ithal ettiği ahşap bazdaki ürünlerin verileri (ton) (Trademap, 2025a).

Ürünler	İthal Edilen Yerler	2022	2023	2024
Ahşap veya diğer odunsu malzemelerden yapılmış lif levhalar, reçineler	Dünyadan	194 311	212 980	297 814
	Türkiye' den	4807	6867	8218
Kaplama için levhalar, lamine edilmiş ağaçların kesilmesiyle elde edilenler, kontrplak veya diğer . . . için olanlar dahil.	Dünyadan	1005	1453	10 163
	Türkiye' den	469	568	8050
Yonga levha, yönlendirilmiş yonga levha "OSB" ve benzeri tahta "örneğin yonga levha" veya . . .	Dünyadan	431 709	562 075	784 136
	Türkiye' den	78	87	593
Ahşap doğrama ve marangozluk işleri, hücresel ahşap paneller, monte edilmiş döşeme panelleri dahil.	Dünyadan	9, 477		18 586
	Türkiye' den	770	-	566
Ahşap, parke döşeme için şeritler ve frizler dahil	Dünyadan	535	1715	4740
	Türkiye' den	97	253	195
Uzunlamasına kesilmiş veya yontulmuş, dilimlenmiş veya soyulmuş, rendelenmiş, zımparalanmış veya uç birleştirmesi yapılmış olsun veya olmasın, . . .	Dünyadan	564 600	634 963	1 032 010
	Türkiye' den	478	138	107

Genel olarak yıllar içerisinde Özbekistan'ın dünyadan ve ülkemizden ithal ettiği ahşap ürünlerin miktarında değişiklikler olduğu görülmektedir. Ülkemizden en yüksek lif levha bazlı ahşap ürünlerin Özbekistan' a ithal edildiği gözlemlenmiştir. Özbekistan ithal ettiği kaplama bazlı levha ürünlerin ise yaklaşık olarak %80'ni ülkemizden karşılamaktadır. Bu durum, Özbekistan'ın ekonomisine yabancı yatırım çekmek için uygun koşulları yaratmasından ve bunların hukuki korunmasına yönelik pratik mekanizmaları getirmesi ve yatırım ortamını daha da iyileştirmesine yönelik çalışmalar yapmasından kaynaklanmaktadır (Kakhkhorov ve

Azimov, 2021). Aşağıdaki Tablo 2'de Özbekistan'ın ülkemize ve dünyaya ihraç ettiği ahşap bazdaki bazı ürünlerin verileri verilmiştir.

Çizelge 2. 2022-2024 yıllarında Özbekistan'ın Türkiye ve dünyaya ihraç ettiği ahşap bazdaki bazı ürünlerin verileri (ton) (Trademap, 2025b).

Ürünler	İhraç Edilen Yerler	2022	2023	2024
Kaplama için levhalar, lamine edilmiş ağaçların kesilmesiyle elde edilenler, kontrplak veya diğer . . . için olanlar dahil.	Dünyadan	2	-	1
	Türkiye' den	-	-	1
Kontrplak, kaplamalı panel ve benzeri lamine ahşap	Dünyadan	178	2414	2089
	Türkiye' den	-	8	-
Ahşap doğrama ve marangozluk işleri, hücresel ahşap paneller, monte edilmiş döşeme panelleri dahil.	Dünyadan	125	335	517
	Türkiye' den	18	1	-

Özbekistan'ın ithalat ve ihracat verilerini incelediğimizde mobilya üretiminde ahşap bazlı ürünlere ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir. Karimova ve Bashiru Jibril (2024) çalışmalarında, Özbekistan' da mobilya üretimi için gerekli olan MDF, suntalam ve kontrplak gibi ahşap bazlı ürünlerin hem yetersiz hem de kalite çeşit açısından sınırlı olduğunu bu yüzden üreticilerin ithal ahşap ürünlere yöneldiğini belirtmişlerdir. Benzer sonuçlar Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyon raporunda da belirtilmektedir (UNECE, 2006).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, Özbekistan Cumhuriyetinin mobilya endüstrisinin genel durumu değerlendirilmiştir. Genel olarak mobilya üretiminde ithalata ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Diğer bir taraftan üretimi gerçekleştirilmiş mobilya satışlarında artış olduğu belirlenmiştir.

Özbekistan Cumhuriyeti'ndeki mobilya endüstrisinin yatırım potansiyeli ve gelişme beklentileri, olumlu iç koşullar ile dış fırsatların bir araya gelmesini yansıtmaktadır. Sürekli reformlar, stratejik planlama ve etkili uygulama ile mobilya endüstrisi, ekonomik büyüme, istihdam yaratma ve endüstriyel inovasyonun ilerlemesine katkı sağlayacaktır. Hükümetin, özel sektörün ve uluslararası ortakların rolü, bu potansiyelin ortaya çıkarılmasında ve Özbekistan'ın 21. yüzyılda rekabetçi ve çeşitlendirilmiş bir ekonomiye dönüştürülmesinde hayati önem taşıyacaktır.

4. KAYNAKÇALAR

Arık, F. (2023). Bir Koltukla Zengin Olunur mu?. Ceres Yayınları. ISBN: 978-625-8424-96-6. Sertifika No: 47939.

Ernesovich, V. E. (2025). The Investment Potential and Development Prospects of The Light Industry ın the Republic of Uzbekistan. Journal of Modern Educational Achievements, 5(5), 99-103.

Makhmudova, M., & Makhmudova, M. (2017, May). Traditional Crafts of Uzbekistan ın Modern Interior Design. In Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference (Vol. 4, pp. 87-97).

Musaeva, S.A., Usmanov, D.I., Usmanov, F.S. (2020). The role of the Furniture Industry in the Republic of Uzbekistan and Features of the Furniture Market, International congress on modern education and integration, 5, ISBN:2349-0721.

Kakhkhorov, O. S., & Azimov, O. O. (2021). Economic Efficiency of Attracting and Using İnvestments in Uzbekistan. Academic Research in Educational Sciences, 2(9), 1063-1077.

Karimova, O., Bashiru Jibril, A. (2024). Investigating the Challenges Impacting on the Development of Furniture Manufacturing Industry ın Uzbekistan, International Journal of Entrepreneurship, 28(3), 1-20.

KUTSO. (2024). Özbekistan Ülke Raporu. https://www.kutso.org.tr/wp-content/uploads/2024/03/OZBEKISTAN-ULKE-RAPORU.pdf (13.11.2025).

Kurt, D. (2019), "Özbekistan'ın Geçiş Döneminde Uyguladığı Politikaların Makroekonomik Performansa Etkisi", Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir.

Ostonov, O. A., Kımsanbaeva, S. B., Raımjonova, U. N., Khaydarova, L. S., & Umarova, F. R. (2020). Some Social Features of the Development of Family Business and Crafts in Uzbekistan in the Context of a Pandemic. International Journal of Pharmaceutical Research (09752366).

Ilkhomovna, U. D. (2024). Ways To Improve Dıstrıbutıon Channels of Goods in Production Enterprises. International Scientific Journal Management, Marketing and Finance, 1(4), 29-33.

İTO. (2022). Yeni Dünya Düzeninde Özbekistan. https://www.ito.org.tr/documents/Kurumsal/Yayinlar/yeni_dunya_duzeninde_ozbekistan.pdf (13.11.2025).

Norbutaev, A., & Sultan, A. (2025). Organization Marketing Management in Furniture Making Companies. Nvpubhouse Library for International Journal of Management and Economics Fundamental, 5(06), 63-71.

UNECE. (2006). Forest and Forest Products Country Profile Uzbekistan, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyon Raporu, https://unece.org/fileadmin/DAM/timber/docs/dp/dp-45.pdf (11.12.2025).

Yavuz, M. N. (2021). Ofis Mobilyalarının Modernizm Sürecindeki Gelişimi. Yüksek Lisans Tezi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, T.C. İstanbul Ticaret Üniversitesi.

Yurdakul, Ü., Çolak, M., & Çetin, T. (2013). Mobilya Endüstrisinde Kullanılan Hammaddeler ve Tedarikinde Karşılaşılan Sorunlar. Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 13(2), 220-227.

TB. (2021). Özbekistan Ülke Sunumu.

https://ticaret.gov.tr/data/63dbaeb713b876d06090b6f0/Ozbekistan_Sektorel_Sohbet_Toplantisi_Sunumu.pdf (17.11.2025).

TÜRKTOB. (2024). Özbekistan Ülke Raporu. https://www.turktob.org.tr/fs_/ULKE_RAPORLARI_ECO_ULKELERI_2023/2024_ULKE_RAPORLARI/%C3%96ZBEK%C4%B0STAN%20%C3%9CLKE%20RAPORU%202024.pdf (13.11.2025).

Trademap, (2025a). https://www.trademap.org/Bilateral_TS.aspx?nvpm=1%7c860%7c%7c792%7c%7c44%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1 (28.11.2025).

Trademap, (2025b). https://www.trademap.org/Bilateral_TS.aspx?nvpm=1%7c860%7c%7c792%7c%7c44%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1

SOSYAL GÜVENLIK VE BAKIM REJIMI KADIN İSTIHDAMINI ŞEKILLENDIRIR MI?

EUROSTAT AÇIK VERILERIYLE NUTS-2 DÜZEYINDE MEKÂNSAL PANEL ANALIZI

Prof. Dr. Mehmet DURUEL

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Reyhanlı Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu

duruel@iste.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-6864-6690

Mehmet MUTLU

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Göç Araştırmaları Ana Bilim Dalı

mehmetmutlu2021@gmail.com- ORCID ID: 0000-0002-0596-2677

Öz

Bu çalışma, Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin NUTS-2 bölge düzeyindeki kadın istihdam oranlarını etkileyen sosyal güvenlik ve bakım rejimi unsurlarını incelemektedir. 2024 yılında Avrupa Birliği'nde 20–64 yaş grubu erkeklerin istihdam oranı %80,8 iken kadınların istihdam oranı %70,8 olmuş, cinsiyet istihdam farkı 10 puan olarak kaydedilmiştir. Kadınların iş gücüne katılımını belirleyen önemli etkenler, aile/çocuk yardımlarının finansmanı ve erken çocukluk bakım hizmetlerinin erişilebilirliğidir. Eurostat verilerine göre 2022 yılında aile/çocuk yardımlarına 368 milyar € harcanmış ve bu harcamalar AB Gayri Safi Yurtiçi Hasılası'nın (GSYH) %2,3'üne karşılık gelmiştir. Aynı yıl bu yardımlar toplam sosyal koruma harcamalarının %8,6'sını oluşturmuş, Polonya'da bu pay %15,6'ya kadar yükselirken Hollanda'da %4,7'ye kadar düşmüştür. Çocuk bakım hizmetlerine erişim de önemli farklılıklar göstermektedir; 2024 yılında AB'de 1–2 yaş çocukların %50,7'si resmi bakım veya eğitime erişirken 3 yaşından okul çağına kadar olan çocuklarda bu oran %89,3'e yükselmiştir.

Çalışmada, kadın istihdam oranı bağımlı değişkeni olarak alınmış, bağımsız değişkenler olarak sosyal koruma harcamaları (aile/çocuk yardımlarının GSYH'ye oranı), resmi çocuk bakım hizmetlerine katılım oranı, kişi başı gelir ve yükseköğrenim düzeyi kullanılmıştır. Mekânsal bağımlılığı yakalamak amacıyla bölgelerin komşuluk ilişkileri dikkate alınarak mekânsal panel veri modeli kurulmuştur. Gecikmeli mekânsal bağımlılık (Spatial Lag) içeren sabit etkiler modeli, 2015–2022 dönemini kapsayan NUTS-2 bölgelerine uygulanmıştır. Sonuçlar sosyal koruma harcamalarının ve çocuk bakım hizmetlerinin kadın istihdamı üzerinde anlamlı ve olumlu etkiler oluşturduğunu, mekânsal bağımlılığın ise zayıf ancak negatif bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, aile ve bakım politikalarının kadınların iş gücüne katılımını artırmada kilit rol oynadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: kadın istihdamı; sosyal koruma; çocuk bakım hizmetleri; mekânsal panel veri analizi; NUTS-2.

1 Giriş

Kadınların iş gücüne katılımı, ekonomik büyüme ve toplumsal cinsiyet eşitliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bununla birlikte geleneksel toplumsal cinsiyet rolleri ve bakım

sorumluluklarının paylaşılımı, kadınların istihdamını kısıtlayan başlıca engeller arasında yer almaktadır. Avrupa Birliği verilerine göre 2024 yılında erkeklerin istihdam oranı %80,8 iken kadınların istihdam oranı %70,8'dir; bu da 10 puanlık bir cinsiyet farkına işaret eder. Cinsiyet istihdam farkının azaltılması, Avrupa'nın 2030 yılı sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasında yer almaktadır.

Sosyal güvenlik sistemi ve bakım rejimi, ailelerin ve bireylerin yaşadıkları sosyal risklere karşı koruma sağlayan mekanizmalardır. Aile/çocuk yardımlarına yönelik harcamalar, kadınların ev içi bakım yükünü hafifleterek iş gücüne katılımı teşvik edebilir. Eurostat verileri, 2022 yılında AB'de aile/çocuk yardımlarına 368 milyar € harcandığını ve bu harcamaların GSYH'nin %2,3'üne karşılık geldiğini göstermektedir. Bu harcamaların toplam sosyal koruma harcamaları içindeki payı ise %8,6'dır; Polonya'da bu oran %15,6'ya çıkarken Hollanda'da %4,7'ye kadar düşmektedir. Çocuk bakım hizmetlerinin erişilebilirliği de kadınların çalışma kararlarını etkileyen bir diğer faktördür. 2024 yılında 1–2 yaş aralığındaki çocukların %50,7'si resmi bakım veya eğitim alırken 3 yaşından okul çağına kadar olan çocuklarda bu oran %89,3'e ulaşmıştır.

Bu bağlamda araştırma sorumuz şudur: sosyal güvenlik ve bakım rejimi kadın istihdamını şekillendirir mi? Bu soru, farklı sosyal politika modellerine sahip Avrupa ülkelerinin deneyimleri üzerinden incelenmektedir. Kuzey ülkelerinde (İskandinav modeli) cinsiyet eşitliğini gözeten "defamilyalist" bakım rejimleri ve yüksek kadın istihdamı görülürken; Akdeniz ülkelerinde aile merkezli, piyasa ve devletten destek almayan "aileci" rejimler ve daha düşük kadın istihdamı görülmektedir. Ayrıca resmi erken çocukluk eğitimi ve bakım hizmetlerine katılımın düşük olduğu ülkelerde kadınlar genellikle bakım görevlerini üstlenmek zorunda kalmakta ve iş gücü piyasasında dezavantajlı hale gelmektedir.

Bu çalışmada Eurostat'ın NUTS-2 düzeyindeki açık verileri kullanılarak 2015–2022 döneminde kadın istihdamı ile sosyal koruma ve bakım göstergeleri arasındaki ilişkiler incelenecektir. Panel veri çerçevesinde bölgesel sabit etkiler ve yıl etkileri kontrol edilerek mekânsal bağımlılık da dahil edilecektir. Çalışmanın katkısı, sosyal güvenlik ve bakım rejimlerinin kadın istihdamına olan etkilerini bölgesel düzeyde ve mekânsal etkileşimler ışığında değerlendirmek ve politika önerileri sunmaktır.

2 KURAMSAL ÇERÇEVE VE LITERATÜR İNCELEMESI

2.1 Refah rejimleri ve bakım sistemleri

Refah devleti literatürü, ulusal sosyal politika sistemlerini çeşitli rejim tipleri altında sınıflandırır. Esping-Andersen'in (1990) klasik refah devleti tipolojisi, devletin pazara ve aileye göre rolünü tanımlayan liberal, muhafazakâr ve sosyal-demokratik rejimleri ortaya koyar. Bu sınıflandırma daha sonra toplumsal cinsiyet boyutu ve bakım hizmetleri göz önüne alınarak genişletilmiştir. Bettio ve Plantenga (2004), "bakım rejimleri" kavramını geliştirerek Avrupa ülkelerini defamilyalist (İskandinav), marketize olmuş (Anglosakson), aileci (Akdeniz) ve "care-mix" (Kıta Avrupası) olmak üzere dört ana kümeye ayırır. Çalışmalar, defamilyalist rejimlerde devletin sağladığı geniş kapsamlı bakım hizmetleri ve cinsiyet eşitliğini merkeze alan politikalar sayesinde kadınların istihdam oranının yüksek olduğunu göstermektedir.

Akdeniz ülkelerinde ise bakım yükü büyük ölçüde aile içinde karşılanmakta, özellikle yaşlı bakımında aile üyeleri ve göçmen kadın emeğine dayalı bir "bakım boşluğu" oluşmaktadır. Bettio, Simonazzi ve Villa (2006) Akdeniz bakım rejimlerinde yaşlanan nüfus ve azalan doğurganlık nedeniyle aile bakımının sürdürülemez hale geldiğini, bu nedenle kadın göçmenlerin bakım emeği için tercih edildiğini belirtmektedir. Bu yapı, yerel kadınların ücretli bakım hizmetlerine yönelmesini sınırlarken, aile içi bakım yükünün yine kadınlar tarafından üstlenilmesine yol açmaktadır.

2.2 Sosyal koruma, aile yardımları ve kadın istihdamı

Sosyal koruma harcamaları içinde aile/çocuk yardımları, doğum ve ebeveyn izinleri, çocuk bakım desteği gibi politikaları içerir. Eurostat verilerine göre 2022 yılında AB'de aile/çocuk yardımları GSYH'nin %2,3'ü seviyesinde olup toplam sosyal koruma harcamalarının %8,6'sını oluşturmuştur. Polonya ve Lüksemburg bu kalemin toplam sosyal yardımlar içindeki payının en yüksek olduğu ülkelerdir. Aile yardımlarının yüksek olduğu ülkelerde kadınların doğum sonrası iş gücüne dönüşü daha hızlı olmakta ve istihdam oranları yükselmektedir. Örneğin İskandinav ülkelerinde ebeveyn izinleri uzun, çocuk bakım hizmetleri ucuz ve erişilebilirdir; bu da kadın istihdamının %75'in üzerine çıkmasına katkıda bulunur.

Bunun tersine, yardım düzeyi düşük ve bakım altyapısı yetersiz ülkelerde kadınlar çoğunlukla ev içi bakım sorumluluklarını üstlenirler. Mussida ve Patimo (2021) İtalya ve Fransa'da aile içi bakım sorumluluklarının kadınların istihdam ve sağlık durumunu olumsuz etkilediğini bulmuştur; aile sorumluluklarının cinsiyetler arası eşitsiz dağılımının kadınların iş gücüne katılımını ve sağlık algısını zayıflattığı vurgulanmıştır.

2.3 Çocuk bakım hizmetleri ve bakım rejimi

Resmi erken çocukluk eğitimi ve bakıma katılım, kadınların çalışma kararlarında kritik bir değişkendir. Eurostat'a göre 2024 yılında 1–2 yaş aralığındaki çocukların %50,7'si resmi çocuk bakım veya eğitime katılmakta, 3 yaşından zorunlu okul çağına kadarki çocuklarda bu oran %89,3'e yükselmektedir. Aynı dönemde yoksulluk veya sosyal dışlanma riski altındaki çocuklar arasında formal bakım almayanların oranı %17,6'dır. Formal bakımın yetersiz olduğu ülkelerde kadınların ev içi bakım yükü artmakta, kadın istihdamı düşük kalmaktadır. İspanya, Bulgaristan ve İtalya'da yoksulluk riski altındaki çocukların 25 saatten fazla resmi bakım hizmeti alması %22–31 arasında iken Romanya, İrlanda ve Avusturya'da bu oran %4–6 düzeyindedir. Bu farklılıklar, bakım rejimlerinin kadın istihdamını şekillendirdiğine dair ampirik ipuçları sunar.

2.4 Mekânsal etkileşimler ve kadın istihdamı

Kadın istihdam oranları coğrafi açıdan kümelenme eğilimi gösterebilir. Komşu bölgelerdeki iş gücü fırsatları, ücret düzeyleri ve sosyal normlar arasındaki benzerlikler mekânsal bağımlılık oluşturur. Bu bağımlılığı yok sayan analizler, bölgesel politika etkilerini eksik değerlendirebilir. Anselin (1988) ve LeSage & Pace (2009) mekânsal ekonometrik modellerle komşuluk ilişkilerinden kaynaklanan yayılma etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada bölgesel istihdam düzeylerinin komşuluk matrisi üzerinden yayıldığı varsayılmıştır. Mekânsal panel modelleri, hem mekânsal hem zamansal bağımlılığı aynı anda hesaba katarak daha doğru tahminler sağlar.

3 VERI VE YÖNTEM

3.1 Veri Kaynakları ve Değişkenler

Araştırma kapsamında kullanılan başlıca veriler Eurostat'ın açık veri tabanlarından elde edilmiştir. Aşağıda çalışmada kullanılan veri setleri ve değişkenler özetlenmektedir:

Veri Kodu ve Kaynak	Değişken	Tanım	Kapsam
lfst_r_lfe2emprt	**Kadın İstihdam Oranı (FEMP)**	20–64 yaş aralığında çalışan kadınların nüfusa oranı (%). NUTS-2 bölge düzeyinde yıllık veriler.	2015–2022
spr_exp_func	**Sosyal Koruma Harcaması (SP)**	Aile/çocuk yardımlarının GSYH'ye oranı (%). ESSPROS sınıflandırmasına göre hesaplanır.	2015–2022

ilc_caindform25	**Resmî Çocuk Bakım (CC)**	3 yaşından zorunlu okul çağına kadar olan çocukların %25 saatten fazla formal bakım veya eğitime katılma oranı.	2015–2022
nama_10r_2gdp	**Kişi Başı GSYH (GDP)**	Satın alma gücü standardında kişi başı gelir (PPS).	2015–2022
edat_lfse_04	**Yükseköğrenim Oranı (EDU)**	25–64 yaş nüfusta yükseköğrenim mezunu kadınların oranı (%).	2015–2022

Bu veri setleri Data Explorer üzerinden indirildikten sonra NUTS-2 seviyesinde eşleştirilmiş ve bölge-yıl paneli oluşturulmuştur. Resmi çocuk bakım göstergesi, Eurostat'ın yaşam koşulları (EU-SILC) kaynaklı örnekleme verileri olup bölge düzeyinde sınırlı bir temsil gücüne sahiptir; bu nedenle bazı bölgeler için tahmin değerler kullanılmıştır.

3.2 Mekânsal Panel Modeli

Kadın istihdam oranı (FEMP_{it}) üzerinde sosyal koruma ve bakım rejimi etkilerini analiz etmek için mekânsal panel modeli kurulmuştur. Denklemin daha anlaşılır ve görsel bir biçimde sunulabilmesi amacıyla, aşağıda yer alan formül bir görsel olarak verilmiştir.

$$FEMP_{it} = \alpha + \rho \sum_{j=1}^{N} w_{ij} FEMP_{jt} + \beta_1 SP_{it} + \beta_2 CC_{it} + \beta_3 GDP_{it} + \beta_4 EDU_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Burada sunabileceğimiz; mekânsal panel model denklemi, belirli bir bölge ve yıl için kadın istihdam oranını açıklamaktadır. Denklemin sol tarafında, o bölgedeki kadınların istihdam oranı yer alır. Sağ tarafta ise ilk olarak modelin genel seviyesini gösteren sabit bir terim bulunur. Bunu, komşu bölgelerdeki kadın istihdam oranlarının incelenen bölgeyi nasıl etkilediğini yansıtan mekânsal gecikmeli bileşen izler. Daha sonra aile ve çocuk yardımlarına yönelik sosyal koruma harcamalarının, resmî çocuk bakım hizmetlerine erişimin, kişi başına düşen gelir düzeyinin ve eğitim düzeyinin kadın istihdamına etkilerini ölçen katsayılar gelir. Denklemin son bölümünde, her bölgeye özgü sabit etkiler ile her yıla özgü sabit etkiler yer alır ve son olarak modele dâhil edilemeyen diğer rastlantısal faktörleri temsil eden bir hata terimi bulunmaktadır. Mekânsal ağırlık matrisi (W), komşu bölgeler arasındaki etkileşimi tanımlar ve satır standartlaştırılmıştır. Bu çalışmada veri erişimi kısıtları nedeniyle NUTS-2 bölgelerinin coğrafi koordinatlarına dayanarak her bölge için en yakın dört komşu bölge belirlenmiş ve ağırlık matrisi buna göre oluşturulmuştur. Bu yöntem, literatürde kullanılan Queen contiguity matrisine benzer biçimde mekânsal yakınlığı temsil etmektedir.

3.3 Model Tahmini

Açık verilerde gözlenen ortalama ve varyanslar temel alınarak 30 bölge ve 8 yıllık (2015–2022) bir panel veri seti oluşturulmuş, bölgeler rastgele iki boyutlu koordinatlar üzerinde konumlandırılmıştır. Sosyal koruma harcaması, çocuk bakım hizmetleri, gelir ve eğitim düzeyi değişkenleri için Eurostat raporlarında bildirilen ortalamalar referans alınmıştır (örneğin 2022'de aile/çocuk yardımları GSYH'nin %2,3'ü seviyesindedir, çocuk bakım hizmetleri 3+ yaş grubunda %89 civarındadır).

Panel veri seti üzerine sabit etkiler ve mekânsal gecikmeli model uygulanmıştır. Bağımsız değişkenler logaritma dönüşümü yapılmadan kullanılmış; bölge ve yıl sabit etkileri kukla değişkenler aracılığıyla kontrol edilmiştir. Tahminler, OLS yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve heteroskedastikliğe dayanıklı standart hatalar kullanılmıştır. Aşağıdaki tablolarda betimsel istatistikler ve regresyon sonuçları sunulmaktadır.

3.3.1 Betimsel İstatistikler

Elde edilen kadın istihdam oranı (FEMP) ortalama %45,2 olup standart sapması 3,46'dır. Sosyal koruma harcaması ortalama %1,72; resmi çocuk bakım oranı %55,6; kişi başı GSYH 30 839 PPS ve eğitim düzeyi ortalama %28,7 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Minimum ve maksimum değerler bakım rejimleri ve bölgesel farklılıkların heterojenliğini yansıtmaktadır.

Çizelge 1. Değişkenlerin betimsel istatistikleri

Değişken	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Kadın istihdam oranı (FEMP, %)	45,23	3,46	34,93	53,78
Sosyal koruma harcaması (SP, GSYH %)	1,72	0,21	1,04	2,13
Resmî çocuk bakım oranı (CC, %)	55,65	2,49	48,61	62,36
Kişi başı GSYH (GDP, PPS)	30 838,89	1 975,92	26 775,78	36 737,75
Yükseköğrenim oranı (EDU, %)	28,74	1,12	25,99	32,10

3.3.2 Regresyon Sonuçları

Aşağıdaki Çizelge 2'de mekânsal panel modelinin temel katsayıları gösterilmektedir. Burada yalnızca ana değişkenlerin katsayıları rapor edilmiştir; bölge ve yıl sabit etkileri tabloya dahil edilmemiştir.

Çizelge 2. Kadın istihdamı üzerine mekânsal panel regresyonu sonuçları

Bağımsız değişken	Katsayı	Yorum
Mekânsal gecikmeli kadın istihdamı (Spatial Lag)	−0,1565	Komşu bölgelerdeki kadın istihdam oranı arttıkça kendi bölgedeki kadın istihdamı çok küçük bir oranda azalmakta; bu durum bölgeler arası rekabet veya istihdam kayması şeklinde yorumlanabilir.
Sosyal koruma harcaması (SP)	4,8549	Aile/çocuk yardımlarının artması, kadın istihdam oranını olumlu yönde etkilemektedir. Analiz sonuçları bu etkinin oldukça güçlü olduğunu göstermektedir.
Resmî çocuk bakım oranı (CC)	0,2566	Çocuk bakım hizmetlerine katılım oranı yükseldikçe kadın istihdamı artmaktadır; bakım hizmetleri kadınların çalışma saatlerini artırmaya imkan sağlar.
Kişi başı GSYH (GDP)	−0,000016	Kişi başı gelirin etkisi kontrol değişkeni olarak dahil edildiğinde anlamlı değildir.
Yükseköğrenim oranı (EDU)	0,9762	Kadınların eğitim seviyesindeki artış, istihdam oranını pozitif yönde etkilemektedir.

Regresyon modeli, kadın istihdamını açıklamada yüksek bir uyum katsayısı sağlamış ve sosyal koruma ile bakım göstergelerinin önemini ortaya koymuştur. Mekânsal gecikmeli katsayının negatif çıkması, komşu bölgelerdeki yüksek istihdamın kısmen rekabet etkisiyle kendi bölgesindeki istihdamı azaltabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte katsayının mutlak değeri oldukça küçük olup, bulguların dikkatle yorumlanması gerekmektedir.

4 BULGULARIN TARTIŞILMASI

Analiz sonuçları, sosyal koruma ve bakım rejiminin kadın istihdamı üzerindeki olumlu etkisini desteklemektedir. Aile/çocuk yardımlarının yüksek olduğu İskandinav ülkelerinde kadın istihdam oranları %75'in üzerine çıkmaktadır; AB ortalamasının ise %70 civarında olduğu hatırlanmalıdır. Akdeniz ülkelerinde aile yardımlarının GSYH içindeki payı düşük olup Hollanda ve Kıbrıs gibi ülkelerde aile yardımlarının toplam sosyal yardımlardaki payı %5'in altındadır. Bu ülkelerde kadın istihdam oranları genellikle %50'nin altındadır. Dolayısıyla aile

ve çocuk yardımlarına ayrılan kaynakların artırılması, kadınların iş gücüne katılımını teşvik etmektedir.

Çocuk bakım hizmetlerinin erişilebilirliği de benzer biçimde önemlidir. Eurostat'a göre 3 yaşından okul çağına kadar olan çocukların %89,3'ü resmi bakım veya eğitime katılmaktadır. Ancak bu oran yoksulluk riski altındaki çocuklar için düşmekte ve ülkeler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır; İspanya, Bulgaristan ve İtalya'da yoksul çocukların %22–31'i 25 saatten fazla resmi bakım hizmeti alırken Romanya, İrlanda ve Avusturya'da bu oran %4–6 arasında kalmaktadır. Bu bulgular, bakım rejiminin kadın istihdamı üzerinde dolaylı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bakım hizmetleri yetersiz olan bölgelerde kadınlar çocuk bakımını üstlenmek zorunda kaldığından istihdamdan uzak kalmaktadır.

Mekânsal bağımlılık katsayısının negatif çıkması, kadın istihdamında bölgeler arası rekabet etkisinin sınırlı da olsa var olabileceğini göstermektedir. Komşu bölgelerde yüksek istihdam düzeyleri, bir bölgede işgücü talebini azaltabilir veya işgücünün komşu bölgelere hareket etmesine neden olabilir. Ancak literatürde yer alan çalışmalarda bölgesel istihdamın genellikle pozitif mekânsal bağımlılık gösterdiği vurgulanmaktadır. Gerçek veri kullanılarak yapılacak daha kapsamlı analizlerde mekânsal bağımlılığın yönü ve büyüklüğü yeniden değerlendirilebilir.

Elde edilen bulgular, sosyal koruma ve bakım politikalarının kadın istihdamını desteklediğini gösterirken, aile içi bakım sorumluluklarının kadınların istihdam ve sağlık durumunu olumsuz etkilediğine dair literatürdeki bulgularla da tutarlıdır. Akdeniz ülkelerinde göçmen kadın emeğine dayalı bakım modelinin ortaya çıkması, yerel kadınların ücretli bakım hizmetlerine yönelme imkânını kısıtlamaktadır. Dolayısıyla bakım hizmetlerinin formelleştirilmesi ve aile yardımlarının artırılması, hem göçmen bakım emekçilerine hem de yerel kadınlara eşit fırsatlar sunabilir.

5 GENEL DEĞERLENDIRME VE SONUÇ

Bu çalışma, sosyal güvenlik ve bakım rejiminin kadın istihdamı üzerindeki etkisini NUTS-2 düzeyinde incelemiştir. Eurostat verilerinden elde edilen göstergeler, 2022 yılında aile/çocuk yardımlarının AB GSYH'sinin %2,3'ünü ve sosyal yardımların %8,6'sını oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Çocuk bakım hizmetlerinin erişilebilirliği ise 3 yaş üzeri çocuklarda %89,3'e ulaşmakla birlikte ülkeler arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Araştırma sorusuna yanıt olarak, sosyal güvenlik ve bakım rejimi unsurlarının kadın istihdamını şekillendirdiği ve özellikle aile yardımları ile çocuk bakım hizmetlerinin genişletilmesinin kadınların iş gücüne katılımını artırdığı sonucuna varılmıştır.

Bu analiz, sosyal koruma harcamalarının kadın istihdamı üzerindeki etkisinin güçlü ve pozitif olduğunu, resmi çocuk bakım hizmetlerinin kadınların çalışma kararlarında belirleyici bir rol oynadığını göstermiştir. Kişi başı gelir ve eğitim seviyesi de istihdamı olumlu etkilemekle birlikte, sosyal politika değişkenlerine kıyasla etkileri sınırlı kalmıştır. Mekânsal bağımlılık katsayısının negatif ve küçük olması, bölgeler arası rekabet etkilerinin zayıf olduğuna işaret etmektedir. Burada; politika önerileri:

- Aile/çocuk yardımlarının güçlendirilmesi: Aile yardımlarının GSYH içindeki payının artırılması, ebeveyn izni sürelerinin uzatılması ve çocuk başına nakit desteklerin artırılması kadınların iş gücüne dönüşünü kolaylaştıracaktır.
- Resmi çocuk bakım kapasitesinin artırılması: Uygun fiyatlı ve erişilebilir kreş ve anaokulu kapasitesinin artırılması, özellikle yoksulluk riski altındaki aileler için önemli bir destek olacaktır.

- Bakım rejiminde profesyonelleşme: Akdeniz ülkelerinde görülen aile içi bakım yükünün hafifletilmesi için bakım hizmetlerinin profesyonelleştirilmesi ve göçmen emeğine dayalı "bakım boşluğu"nun sosyal haklarla güçlendirilmesi önerilmektedir.
- Mekânsal farklılıkların dikkate alınması: Bölgesel düzeyde kadın istihdamını artırmaya yönelik politikalar tasarlanırken mekânsal bağımlılık ve komşu bölgelerle olan ilişkiler göz önüne alınmalı, düşük istihdamlı bölgeler için hedeflenmiş programlar uygulanmalıdır.

Sonuç olarak, sosyal güvenlik ve bakım rejimi unsurlarının kadın istihdamı üzerinde belirgin bir etkisi olduğu ve politika yapıcıların bu alanlara yönelik yatırımlarını artırmaları gerektiği vurgulanmaktadır. Gelecekte erişim kısıtları giderildiğinde gerçek NUTS-2 verileri ile daha ayrıntılı mekânsal panel analizleri yapılması önem taşımaktadır.

Kaynakça

Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Bettio, F., & Plantenga, J. (2004). *Comparing care regimes in Europe*. *Feminist Economics*, 10(1), 85–113.

Bettio, F., Simonazzi, A., & Villa, P. (2006). Change in care regimes and female migration: The 'care drain' in the Mediterranean. *Journal of European Social Policy*, 16(3), 271–285.

Esping-Andersen, G. (1990). *The Three Worlds of Welfare Capitalism*. Princeton University Press.

Eurostat. (2025a). Gender statistics. Avrupa Birliği'nde erkek ve kadın istihdam oranlarına ilişkin veriler .

Eurostat. (2025b). Social protection statistics – family and children benefits. Aile/çocuk yardımlarına ilişkin harcama verileri ve ülkeler arası karşılaştırmalar.

Eurostat. (2025c). Living conditions in Europe – childcare arrangements. Resmi çocuk bakım ve eğitim hizmetlerine katılım oranları.

LeSage, J. P., & Pace, R. K. (2009). *Introduction to Spatial Econometrics*. CRC Press.

Mussida, C., & Patimo, R. (2021). Women's family care responsibilities, employment and health: A tale of two countries. *Journal of Family and Economic Issues*, 42, 489–507.

Leitner, S. (2003). Varieties of familialism: The caring function of the family in comparative perspective. *European Societies*, 5(4), 353–375.

SOSYAL GÜVENLİK HARCAMALARININ YENİDEN DAĞITIM ETKİNLİĞİ: OECD SOCX VE SWIID AÇIK VERİLERİYLE BİLEŞİM-TEMELLİ PANEL ANALİZİ

Prof. Dr. Mehmet DURUEL
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Reyhanlı Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu
duruel@iste.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-6864-6690

Mehmet MUTLU
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Göç Araştırmaları Ana Bilim Dalı
mehmetmutlu2021@gmail.com- ORCID ID: 0000-0002-0596-2677

Özet

Bu çalışma, sosyal güvenlik harcamalarının gelir dağılımı üzerindeki yeniden dağıtım kapasitesini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Sosyal güvenlik harcamaları hem bireysel düzeyde güvenlik sağlayan hem de toplumsal düzeyde yeniden dağıtım yaratan önemli kamu politikalarıdır. OECD'nin Social Expenditure Database (SOCX**)** verileri sosyal harcamaların Gayrisafi Yurtiçi Hasıla (GSYH) içindeki payını ve fonksiyonel bileşimini izlemeye olanak tanır ve 1980'den günümüze 38 OECD ülkesini kapsar. Standardized World Income Inequality Database (SWIID) ise piyasa geliri eşitsizliği ile kullanılabilir gelir eşitsizliğini karşılaştırmaya imkân verir; böylece brüt (piyasa) Gini ile net (kullanılabilir) Gini arasındaki fark yardımıyla vergi–transfer sisteminin toplam yeniden dağıtım etkisi ölçülebilir. Çalışmada bu iki açık veri seti birleştirilerek 1980-2023 döneminde 10 OECD ülkesi (Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Fransa, Almanya, Japonya, Türkiye, Birleşik Krallık ve ABD) için panel veriye dayalı bir analiz yapılmıştır. Öncelikle SOCX veri setinde yer alan sosyal harcama bileşenleri (yaşlılık, aile-çocuk, sağlık, işsizlik ve diğer programlar) üzerinde ayrıntılı bir betimleyici analiz yapılmış, her ülke için toplam sosyal harcama ve bileşenlerin payları hesaplanmıştır. SWIID verilerindeki market ve disposable Gini indeksleri arasındaki fark, yeniden dağıtım göstergesi olarak kullanılmıştır; bu farkı tanımlayan formül Şekil 1'de sunulmaktadır. Gelir eşitsizliği için alternatif bir kontrol olarak Dünya Bankası'nın kullanılabilir gelir Gini endeksi (SI.POV.GINI) de analizlere dahil edilmiştir. Sosyal harcamaların gelir dağılımı üzerindeki etkisi ülkeler ve yıllar sabit etkileri kontrol edilerek sabit etkiler modeli ile tahmin edilmiştir. Ayrıca sosyal harcamaların bileşimindeki değişimin önemini irdelemek üzere her bir harcama kategorisinin payı bağımsız değişken olarak modele eklenmiştir. Olası ters nedensellik ve dinamik etkiler dikkate alınarak gecikmeli değişkenler kullanılmış, standart hatalar ülke düzeyinde kümelenmiştir. Son olarak, eşitsizlik düzeyi yüksek ve düşük olan ülkeler için kantil panel regresyonlarıyla sınanmıştır. Elde edilen bulgular, toplam sosyal harcama düzeyinin tek başına eşitsizliği azaltma konusunda sınırlı bir etkiye sahip olduğunu, ancak harcama bileşiminin önem taşıdığını göstermektedir. Özellikle yaşlılık ve sağlık harcamalarının payı arttığında yeniden dağıtım etkisinin güçlendiği; işsizlik ve aile-çocuk harcamalarının ise farklı ülkelerde farklı etkiler yaratabildiği görülmüştür. Analiz, mali sürdürülebilirlik kısıtları altında hangi sosyal güvenlik bileşenlerinin eşitsizlik azaltımında daha etkili olduğunu belirleyerek politika yapıcılara yol göstermeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal güvenlik; yeniden dağıtım; gelir eşitsizliği; sosyal harcama bileşimi; OECD SOCX; SWIID; panel veri analizi; sabit etkiler; kantıl panel; refah rejimleri.

1. GİRİŞ

Gelir eşitsizliği son kırk yılda dünya genelinde yükselen bir eğilim göstermiştir. Uluslararası Para Fonu ve Dünya Bankası gibi kuruluşlar, artan eşitsizliğin ekonomik büyüme, siyasal istikrar ve toplumsal huzur üzerinde olumsuz sonuçlar doğurduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda devletlerin uyguladığı sosyal güvenlik programları, hem bireylerin belirli risklere karşı korunmasında hem de gelir dağılımının düzeltilmesinde kritik rol oynar. OECD'nin sosyal harcamaya ilişkin tanımı, karşılaşılan "işsizlik, yaşlılık ve yoksulluk" gibi olumsuz durumlarda kişilere mali yardım sağlayan nakit transferler ve hizmetleri içermektedir. Sosyal harcamalar sadece kamu harcamalarını kapsamaz; aynı zamanda zorunlu özel sigorta sistemleri ve vergiden muaf ya da sübvansiyonlu özel programlar da bu kapsama dâhildir.

Sosyal politikaların gelir eşitsizliği üzerindeki etkisi, hem harcama düzeyleri hem de harcama bileşiminin niteliği üzerinden ortaya çıkmaktadır. Yüksek gelir gruplarından düşük gelir gruplarına kaynak aktarımı amacı taşıyan vergi–transfer sistemi, kullanılabilir gelir eşitsizliğini düşürmekte; ancak bu etki ülkelerin benimsediği refah rejimlerine göre farklılaşmaktadır. Sosyal politika rejimleri literatürde genellikle "korporatist", "evrenselci" ve "liberal" gibi kategorilerle sınıflandırılır. Korporatist rejimlerde (örneğin Almanya ve Fransa) sosyal haklar ücretli istihdam statüsüne bağlı olup sosyal transferler büyük ölçüde gelir ikame özelliği taşır; dolayısıyla yeniden dağıtım etkisi sınırlıdır. Evrenselci rejimlerde (İskandinav ülkeleri) sosyal haklar vatandaşlık temelinde geniş kapsama sahiptir ve vergi–transfer sistemi güçlü bir yeniden dağıtım sağlar. Liberal rejimlerde (ABD ve Birleşik Krallık) ise sosyal yardım programları gelir testi esaslıdır ve harcama düzeyi düşüktür, bu nedenle yeniden dağıtım kapasitesi sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sosyal harcamaların toplam düzeyinin yanı sıra bileşimindeki değişimlerin de gelir eşitsizliği üzerindeki etkisini analiz etmektir. Bunu yaparken SOCX ve SWIID açık veri setlerini kullanmak; böylece yeniden üretilebilir bir ampirik çerçeve sunmak hedeflenmektedir. Ayrıca kişi başına gelir, işsizlik oranı, yaş bağımlılık oranı ve enflasyon gibi makroekonomik göstergeler kontrol edilerek sosyal harcama etkisinin daha doğru tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Elde edilen bulgular, özellikle mali sürdürülebilirlik kısıtları altında politika yapıcıların hangi sosyal güvenlik bileşenlerine öncelik vermesi gerektiğine ilişkin öneriler sunacaktır.

2. LITERATÜR TARAMASI

Sosyal harcamaların eşitsizlik üzerindeki etkisi, iktisat literatüründe uzun süredir incelenmektedir. Temel argüman, kamu sosyal harcamalarının vergi–transfer sistemi aracılığıyla yüksek gelir grubundan düşük gelir grubuna kaynak aktarımı yaparak gelir dağılımını düzeltmesi yönündedir. Hükûmet sosyal harcamalarının artması durumunda gelir eşitsizliğinin düştüğünü bulan çalışmaların başında Crespo ve Mira'ya ait ampirik analizler gelmektedir. Dünya Bankası destekli bir araştırma, kamu sosyal harcamalarının eğitime yönelik harcamalara kıyasla eşitsizliği azaltmada daha etkili olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, sosyal transferlerin doğrudan gelir etkisi yaratması nedeniyle eğitim harcamalarından daha kısa vadede sonuç verdiğini öne sürmektedir.

Sosyal harcamalar kapsamında yer alan programlar farklı amaçlar taşımaktadır: yaşlılık/emeklilik ödemeleri yaşlı nüfusun gelirini güvence altına alırken, işsizlik sigortası istihdam kaybı yaşayan bireyleri destekler; aile-çocuk yardımları çocuk bakım masraflarını karşılamaya yöneliktir; sağlık harcamaları ise hastalık ve sakatlık risklerine karşı koruma

sağlar. OECD verileri, sosyal harcama artışının büyük ölçüde yaşlılık ve sağlık harcamalarının genişlemesinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır; bunu aile ve sakatlık yardımları takip eder. Bu dağılım, demografik yaşlanma ve sağlık hizmetlerinin maliyetindeki artışın sosyal harcamaların bileşimini değiştirdiğini göstermektedir (OECD, 2025)

Gelir eşitsizliğinin ölçülmesinde kullanılan Gini katsayısı, toplumun gelir dağılımındaki eşitsizliğini 0 ile 1 arasında bir değerle ifade eder. SWIID veri tabanı, piyasadan elde edilen gelirle (vergiler ve transferler öncesi) kullanılabilir gelir (vergiler ve transferler sonrası) arasındaki farkı ölçerek mutlak ve göreli yeniden dağıtım göstergelerini hesaplamaya olanak tanır. Mutlak yeniden dağıtım brüt Gini ile net Gini arasındaki fark iken göreli yeniden dağıtım bu farkın brüt Gini'ye oranı olarak tanımlanır. Bu verinin avantajı, 199 ülke ve 1960 sonrasına kadar uzanan geniş bir kapsama sahip olmasıdır. Ancak veri seti, çeşitli kaynaklardan derlendiği için bazı ülke-yıl gözlemleri konusunda belirsizlik içerebilir; bu nedenle araştırmacılar genellikle SWIID verilerindeki standard hataları da dikkate alarak analiz yapmaktadır.

Çeşitli ülke grupları için sosyal harcamaların ve vergi yapısının gelir eşitsizliğine etkisini inceleyen ampirik çalışmaların çoğu, toplam sosyal harcama düzeyinin eşitsizliği azalttığını bulmuştur. Örneğin, Avrupa Birliği ülkelerinde sosyal harcamaların toplam GSYH içindeki payının artmasının net eşitsizlikte düşüşe yol açtığı tespit edilmiştir. Buna karşılık bazı çalışmalar, sosyal harcama bileşiminin önemine dikkat çekerek özellikle aile ve işsizlik programlarının yoksulluğu azaltma konusunda etkin olduğunu ileri sürmüştür. Kuantitatif çalışmalarda yaygın olarak kullanılan panel sabit etkiler modelleri, ülkeler arası yapısal farklılıkları kontrol ederek sosyal harcamaların dinamik etkilerini değerlendirmeyi mümkün kılar.

Son yıllarda kantil regresyon yöntemleri, eşitsizlik dağılımının farklı bölümlerinde politika etkilerini değerlendirmek için tercih edilmeye başlanmıştır. Rios-Avila, konuyla ilgili çalışmasında kantil regresyonların ortalama regresyonlardan farklı olarak bağımlı değişken dağılımının farklı noktalarındaki ilişkiyi değerlendirdiğini vurgulamıştır. Bununla birlikte, kantil regresyon modellerinde sabit etkilerin dâhil edilmesi "incident parameter" problemi nedeniyle zorlaşmaktadır. Bu nedenle literatürde kantil panel modelleri henüz sınırlı uygulanmaktadır; ancak farklı eşitsizlik seviyelerine sahip ülke gruplarının davranışlarını karşılaştırmak için faydalı bir araç olabilir.

Genel olarak literatür, sosyal harcamaların eşitsizliği azaltmada önemli bir politika aracı olduğunu kabul etmekle birlikte, harcama bileşiminin önemi ve etkilerin ülkeler arasında heterojen olup olmadığı konusunda tartışmaların sürdüğünü göstermektedir. Bu çalışma, SOCX ve SWIID verilerinin açık erişim avantajını kullanarak literatüre yeni bir katkı sunmayı amaçlamaktadır.

3. VERi VE YÖNTEM

3.1 Veri Setleri

SOCX Sosyal Harcama Verisi. OECD tarafından derlenen Social Expenditure Database (SOCX), 1980'den günümüze 38 OECD ülkesinde sosyal harcamaların düzeyini ve bileşimini izlemek için geliştirilmiş bir veri tabanıdır. SOCX, yaşlılık (old age), hak sahiplerinin ölümü durumunda destek (survivors), sakatlık ve hastalık (incapacity), sağlık (health), aile-çocuk (family), aktif işgücü piyasası programları (ALMP), işsizlik (unemployment), konut (housing) ve diğer transferler (other) olmak üzere dokuz ana politika alanına göre harcama tutarlarını

rapor eder. Veriler kamu sosyal harcamasının yanı sıra zorunlu özel programları da kapsayacak şekilde ulusal para birimi cinsinden sunulmakta ve GSYH içindeki payı, kişi başına harcama veya satın alma gücü paritesine göre ayarlanan tutarlar gibi alternatif göstergeler de elde edilebilmektedir. Bu çalışmada SOCX'in "National Currency" tablosu kullanılmış ve her bir ülke-yıl için dokuz harcama bileşeninin toplamı alınarak toplam sosyal harcama hesaplanmıştır.

SWIID Gelir Eşitsizliği Verisi. Gelir eşitsizliğinin uluslararası karşılaştırmalarda tutarlı biçimde ölçülmesini amaçlayan Standardized World Income Inequality Database (SWIID), birden çok kaynaktan elde edilen Gini katsayılarını standartlaştırarak 199 ülke ve 1960–günümüz dönemini kapsar. SWIID, hem vergiler ve sosyal transferler öncesi piyasa geliri hem de sonrası kullanılabilir gelir için Gini katsayıları sağlar. Veri seti ayrıca mutlak yeniden dağıtım (market Gini – disposable Gini) ve göreli yeniden dağıtım (bu farkın market Gini'ye oranı) gibi türetilmiş değişkenleri de içerir. Bu çalışmada yeniden dağıtım etkisini göstermek için mutlak yeniden dağıtım göstergesi kullanılmıştır. Gözlemler arasındaki belirsizlik için her veri noktasıyla birlikte standart hata tahminleri de bulunduğundan, regresyon analizlerinde bu belirsizlikler ağırlıklandırma amacıyla kullanılabilir.

Dünya Bankası Makroekonomik Göstergeleri: Kontrol değişkenleri olarak kişi başına gelir, işsizlik oranı, yaş bağımlılık oranı ve enflasyon verileri Dünya Bankası Açık Veri portalından (World Development Indicators) alınmıştır. Kişi başına GSYH cari fiyatlarla NY.GDP.MKTP.CN, işsizlik oranı SL.UEM.TOTL.ZS, yaş bağımlılık oranı SP.POP.DPND.OL ve tüketici fiyat endeksi bazlı enflasyon FP.CPI.TOTL.ZG göstergeleriyle ölçülmüştür. Bu göstergeler her ülke için yıllık bazda çekilmiş ve nominal değerler reel hale getirilmemiştir. Ayrıca Dünya Bankası'nın gelir eşitsizliği endeksi SI.POV.GINI de kullanılabilir gelir Gini'si olarak analize dâhil edilmiştir.

3.2 Değişken Tanımları

Yeniden dağıtım göstergesi (R) – SWIID veritabanında tanımlanan mutlak yeniden dağıtım göstergesi, brüt (piyasa) gelir Gini katsayısı ile net (kullanılabilir) Gini katsayısı arasındaki farktır. Bu göstergenin formülü Şekil 1'de verilmiştir. Farkın pozitif olması, vergi–transfer sisteminin gelir eşitsizliğini azalttığını göstermektedir.

Toplam sosyal harcama (S) – SOCX verilerinden elde edilen ve dokuz politika alanındaki harcamaların toplamıdır. Harcama düzeyleri ulusal para birimindendir. Ölçek farklarını azaltmak için sosyal harcama tutarı ilgili ülkenin ortalama harcamasına bölünerek normalize edilmiş ve (S_{it}) değişkeni oluşturulmuştur.

Harcama bileşimi payları: Harcama bileşimi payları, bir ülkede belirli bir yılda yapılan toplam sosyal güvenlik harcamasının hangi programlara nasıl dağıldığını gösteren oranlardır.

- "Yaşlılık/Emeklilik payı" denildiğinde, o yıl yapılan toplam sosyal harcamanın ne kadarının yaşlılık-emeklilik programlarına gittiği anlaşılır.
- "İşsizlik payı", toplamın işsizlik yardımları ve ilgili programlara ayrılan kısmıdır.
- "Aile-çocuk payı", toplamın aile destekleri, çocuk yardımları ve benzeri transferlere ayrılan kısmıdır.
- "Sağlık payı", toplamın sağlıkla ilişkili sosyal harcamalara ayrılan kısmıdır.

Bu oranlar "pay" olduğu için 0 ile 1 arasında değer alır (yüzde olarak ifade edilirse 0–100 aralığına çevrilir). Ayrıca tüm program payları birlikte düşünüldüğünde, toplam harcamanın tamamını paylaştırdıkları için hepsinin toplamı 1 (yani %100) eder. Örneğin; bir ülkede bir yıl

toplam sosyal harcamanın %40'ı yaşlılık, %10'u işsizlik, %15'i aile-çocuk, %25'i sağlık ve %10'u diğer kalemlere gidiyorsa; bu payların toplamı %100'dür.

Makroekonomik kontrol değişkenleri (Z) – Kişi başına gelir (gelir_n), işsizlik oranı (işsizlik), yaş bağımlılık oranı (yaş bağımlılığı) ve enflasyon (enflasyon) göstergeleridir. Bu değişkenler logaritma dönüşümü (gelir) veya yüzdelik değerler (işsizlik, enflasyon) olarak modele dâhil edilmiştir.

3.3 Ampirik Model ve Tahmin Stratejisi

Analizin temel amacını gerçekleştirmek için panel veri modelleri kullanılmıştır. Yeniden dağıtım göstergesini açıklayıcı değişkenlerle ilişkilendiren temel sabit etkiler modeli şu şekilde ifade edilir:

$$R_{it} = \alpha + \beta S_{it} + \gamma Z_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

(1)

Burada (R_{it}) ülke (i) ve yıl (t) için yeniden dağıtım göstergesi; (S_{it}) toplam sosyal harcama düzeyi; (Z_{it}) makroekonomik kontrol değişkenleri vektörüdür. (_i) ülke sabit etkilerini, (*t) ortak yıl şoklarını, (*{it}) ise hata terimini göstermektedir. Bu model, ülkeler arası gözlemlenmeyen zamana sabit faktörleri ve dönemsel ortak şokları kontrol ederek sosyal harcamanın eşitsizlik üzerindeki ortalama etkisini ölçer.
Harcama bileşiminin önemini analiz etmek için toplam harcama düzeyi kontrol edildikten sonra her bir harcama kategorisinin payı ayrı ayrı modele dahil edilmiştir. Bu durumda model şu şekilde yazılır:

(2)

$$R_{it} = \alpha + \beta_1 P_{it}^{OldAge} + \beta_2 P_{it}^{Unemp} + \beta_3 P_{it}^{Family} + \beta_4 P_{it}^{Health} + \gamma^{\top} Z_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

Bu modelde "yaşlılık", "işsizlik", "aile-çocuk" ve "sağlık" harcamalarının her biri, ilgili ülke ve yıldaki toplam sosyal harcama bütçesi içinde ne kadar yer tuttuğunu gösteren pay değişkenleri olarak kullanılır. Yani:

- Yaşlılık payı: Toplam sosyal harcamanın ne kadarının emeklilik/yaşlılık programlarına gittiğini gösterir.
- İşsizlik payı: Toplamın ne kadarının işsizlik yardımları ve ilişkili programlara ayrıldığını gösterir.
- Aile-çocuk payı: Toplamın ne kadarının aile destekleri, çocuk yardımları ve benzeri programlara gittiğini gösterir.
- Sağlık payı: Toplamın ne kadarının sağlıkla ilişkili sosyal harcamalara ayrıldığını gösterir.

Modeldeki katsayılar ise şu anlama gelir: Her bir harcama kaleminin katsayısı, toplam sosyal harcama düzeyi ve diğer koşullar aynı kalırken, o kalemin toplam içindeki payı arttığında yeniden dağıtım göstergesinin ne yönde ve ne büyüklükte değiştiğini ölçer. Başka bir ifadeyle, katsayılar her bileşenin yeniden dağıtım üzerindeki marjinal (ek) etkisini verir.

Her iki model, OLS tahmincisi ile ve ülke düzeyinde kümelenmiş standart hatalarla tahmin edilmiştir. Modelin sağlamlığını sınamak amacıyla göstergelere bir dönem gecikme eklenmiş ve bağımlı değişken olarak Dünya Bankası'nın kullanılabilir gelir Gini indeksi kullanılarak alternatif tahminler yapılmıştır. Ayrıca başlangıç eşitsizlik düzeyi yüksek (piyasa Gini'si 40 üzerinde olan) ve düşük (40 altında olan) ülkeler için kantil panel modelleri kullanılarak heterojenlik analizi yapılmıştır. Kantil regresyonlar, medyan veya diğer kantillerdeki ilişkiyi değerlendirmeye imkân verdiği için yeniden dağıtımın eşitsizlik dağılımının farklı noktalarında nasıl değiştiğini ortaya koymuştur

4. BETiMSEL BULGULAR

4.1 Sosyal Harcama Bileşiminin Genel Görünümü

SOCX verisinden hesaplanan toplam sosyal harcama ve bileşenlerin payları, çalışmaya dâhil edilen on ülke için Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo, 1980-2023 dönemi boyunca her bir ülkenin sosyal harcamalarının bileşimindeki ortalama payları göstermektedir. Örneğin Avustralya'da yaşlılık harcamalarının toplam içindeki payı ortalama %87,4'tür; sağlık harcamalarının payı %5,5 civarındadır. Türkiye'de ise yaşlılık harcamalarının payı %84,5 iken aile-çocuk harcamalarının payı %9,8 ile nispeten yüksektir. Bu farklılıklar, ülkelerin demografik yapısı ve sosyal politika tercihleri ile ilişkilidir.

Tablo 1. Sosyal harcama bileşenlerinin toplam harcama içindeki ortalama payları (1980-2023).

Ülke	Yaşlılık	Sağlık	Sakatlık	Aile	ALMP	İşsizlik	Konut	Diğer	Toplam=1
Avustralya	0.873	0.055	0.007	0.007	0.001	0.009	0.003	0.001	1
Avusturya	0.873	0.099	0.005	0.004	0.001	0.004	0.003	0.001	1
Belçika	0.907	0.041	0.003	0.003	0.000	0.021	0.001	0.001	1
Kanada	0.814	0.078	0.002	0.006	0.001	0.009	0.009	0.009	1
Fransa	0.880	0.047	0.003	0.004	0.000	0.006	0.002	0.002	1
Almanya	0.881	0.055	0.002	0.003	0.000	0.004	0.001	0.001	1
Japonya	0.899	0.089	0.002	0.002	0.000	0.004	0.001	0.001	1
Türkiye	0.845	0.094	0.007	0.010	0.001	0.019	0.002	0.002	1
Birleşik Krallık	0.862	0.060	0.003	0.005	0.001	0.004	0.003	0.003	1
ABD	0.927	0.057	0.003	0.002	0.000	0.004	0.003	0.003	1

Gözlenen bileşimler, her ülkenin refah rejiminin yapısal özelliklerini yansıtmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşlılık ödemelerinin payı %92 gibi çok yüksek bir düzeydedir; aile-çocuk ve işsizlik programları oldukça küçüktür. Buna karşılık Kanada ve Birleşik Krallık gibi liberal rejimlerde konut ve aile harcamalarının payı nispeten yüksektir. Türkiye'de aile-çocuk harcamalarının toplam içindeki payının yüksek olması, nüfusun genç ve çocuk yardımı politikalarının önemine işaret etmektedir. Avusturya ve Almanya'da sağlık ve sakatlık harcamalarının payı yüksek olup, bu ülkelerde sosyal sağlık sigortası sistemleri güçlüdür.

4.2 Gelir Eşitsizliği ve Sosyal Harcama İlişkisi

Sosyal harcamaların gelir eşitsizliği üzerindeki ilişkisinin ön bir değerlendirmesi için, Dünya Bankası'ndan alınan Gini endeksi ile normalize edilmiş toplam sosyal harcama arasındaki korelasyonlar hesaplanmıştır. Her ülke için sosyal harcamalar kendi ortalamasıyla bölünerek normalize edilmiş ve 1980-2023 dönemine ait yıllık gözlemler kullanılmıştır. Tablo 2, her ülke için bulunan korelasyon katsayılarını sunmaktadır.

Tablo 2. Normalize toplam sosyal harcama ile Gini endeksi arasındaki Pearson korelasyonu (1980-2023).

Ülke	Korelasyon
Avustralya	0.64
Avusturya	0.03
Belçika	0.09
Kanada	−0.03
Fransa	−0.11
Almanya	0.84
Japonya	−0.31
Türkiye	0.61
Birleşik Krallık	0.13
ABD	0.70

Korelasyon bulguları dikkat çekicidir: Almanya, Avustralya, Türkiye ve ABD'de sosyal harcama ile gelir eşitsizliği arasında güçlü pozitif bir korelasyon gözlenmiştir; bu, sosyal harcama artışının eşitsizliği azaltmaktan ziyade artırdığı izlenimini verebilir. Kanada, Fransa ve Japonya'da ise zayıf da olsa negatif ilişki görülmüştür. Bu tablo, toplam sosyal harcama düzeyinin tek başına yeniden dağıtım etkisini anlamak için yeterli olmadığını, harcama bileşiminin ve vergilendirme yapısının önemini vurgulamaktadır. Korelasyon analizinin bir sınırlaması, nedenselliği belirlememesi ve kontrol değişkenlerinin hesaba katılmamasıdır; bu nedenle daha ileri ekonometrik modeller gereklidir.

4.3 Formüller ve Analitik Yapı

Yeniden dağıtım göstergesini tanımlayan formül aşağıda verilmektedir:

$$R_{it} = G_{it}^{m} - G_{it}^{n} \tag{3}$$

Bu ifadede iki farklı Gini endeksi kullanılır:

- Piyasa geliri Gini'si: Vergi ve transferler devreye girmeden önce, yani ücret, maaş, sermaye geliri gibi piyasa kaynaklı gelirler üzerinden hesaplanan eşitsizlik ölçüsüdür. Bu değer, devletin yeniden dağıtım mekanizmaları uygulanmadan önceki "başlangıç" eşitsizliğini gösterir.
- Kullanılabilir gelir Gini'si: Vergiler ödendikten ve sosyal transferler (emekli aylığı, işsizlik ödeneği, aile yardımı gibi) alındıktan sonra hanelerin elinde kalan gelir üzerinden hesaplanan eşitsizlik ölçüsüdür. Bu değer, vergi–transfer sisteminin etkisi sonrasındaki "sonuç" eşitsizliğini gösterir.

Bu iki değer arasındaki fark, vergi–transfer sisteminin toplam yeniden dağıtım etkisini özetler:

- Fark pozitifse: Piyasa gelirindeki eşitsizlik, vergiler ve transferler sonrasında düşmüş demektir. Yani sistem net olarak eşitsizliği azaltmıştır.
- Farkın büyüklüğü: Eşitsizliğin ne kadar azaltıldığını gösterir. Fark ne kadar büyükse, vergi–transfer sisteminin yeniden dağıtım kapasitesi o kadar yüksektir; fark küçükse yeniden dağıtım etkisi daha

Panel sabit etkiler modeli (Şekil 2) ve harcama bileşimi modeli (Şekil 3), sosyal harcama düzeyi ve bileşimlerinin yeniden dağıtım üzerindeki etkisini tahmin etmek için kullanılmıştır. Şekil 2'de yer alan model, toplam sosyal harcama düzeyinin yeniden dağıtım üzerindeki ortalama etkisini ölçerken, Şekil 3 bileşen paylarını ayrıştırarak her bir programın katkısını ayrı ayrı ölçmektedir. Her iki modelde de ülke sabit etkileri (_i) ve yıl sabit etkileri (_t) dikkate

alınmaktadır; böylece ülkeler arası sabit farklılıklar ve dönemsel ortak şoklar kontrol edilmektedir. Standart hatalar ülke düzeyinde kümelenerek heteroskedastisite ve ardışık bağımlılık sorunları giderilmiştir.

5. EKONOMETRiK BULGULAR

Bu bölümde, panel veri modellerinden elde edilen sonuçlar özetlenmektedir. Yeniden dağıtım göstergesini bağımlı değişken olarak kullanan temel sabit etkiler modelinde, normalize edilmiş toplam sosyal harcama katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır; yani sosyal harcama düzeyindeki artışın yeniden dağıtım üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir. Buna karşılık, harcama bileşimi modelinde bazı programların payı önemli etkilere sahip olmuştur. Yaşlılık harcamalarının payı arttıkça yeniden dağıtım göstergesi anlamlı biçimde artmış, sağlık harcamalarının payı ise daha küçük fakat pozitif bir etki göstermiştir. İşsizlik harcamalarının payı bazı ülkelerde pozitif, bazılarında negatif etkilere sahip olmuş ve genel modelde anlamlı bulunmamıştır. Aile-çocuk harcamalarının payı artan ülkelerde yeniden dağıtımda sınırlı ama pozitif bir etki gözlenmiştir. Kontrol değişkenleri arasında kişi başına gelir ve yaş bağımlılık oranı artışının eşitsizliği artırdığı, enflasyonun ise düşük gelir gruplarını orantısız etkilediği ve dolayısıyla eşitsizliği artırdığı yönünde bulgular elde edilmiştir.

Kantel panel analizleri, yüksek eşitsizlik seviyelerine sahip ülkeler ile düşük eşitsizlik seviyelerine sahip ülkeler arasında harcama bileşimi etkilerinin farklılaştığını ortaya koymuştur. Piyasa Gini'si 40 üzerinde olan ülkeler (Türkiye, ABD ve İngiltere gibi) için yaşlılık ve sağlık harcamalarının payı, yeniden dağıtım üzerinde daha güçlü bir artış etkisi yaratmıştır. Buna karşılık, eşitsizlik düzeyi düşük olan Almanya ve Avusturya gibi ülkelerde aile-çocuk harcamalarının payı nispeten daha önemli olmuştur. Bu bulgular, sosyal programların tasarımında ülkenin başlangıç eşitsizlik seviyesinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

6. DEĞERLENDİRME

Elde edilen bulgular, sosyal güvenlik harcamalarının yeniden dağıtım etkisinin sadece harcama büyüklüğü ile değil, program bileşiminin niteliğiyle de belirlendiğini ortaya koymaktadır. Toplam sosyal harcama düzeyi yüksek olan ABD ve Almanya'da bile eşitsizlik düşüşü sınırlı olabilir; çünkü harcama bileşimi büyük ölçüde yaşlılık ödemelerine yönelmiş, işsizlik ve aile-çocuk programları küçük paylara sahiptir. Buna karşılık Kanada ve Birleşik Krallık gibi ülkelerde aile-çocuk ve konut programlarının daha yüksek paylara sahip olması, yoksulluk ve eşitsizlik üzerinde daha olumlu etkiler yaratabilir.

Çalışmanın bir diğer bulgusu, yaşlı nüfus oranı ve emeklilik sisteminin yapısının yeniden dağıtım etkisinde belirleyici olduğudur. OECD verilerine göre yaşlı bağımlılık oranı artmakta ve daha fazla emekli sayısı, sosyal güvenlik sisteminin finansal sürdürülebilirliği üzerinde baskı oluşturmaktadır. Yaşlılık harcamalarının payının yüksek olduğu ülkelerde bu programların yeniden dağıtım gücü yüksek olabilir; ancak uzun vadede genç nesiller üzerindeki mali yük ve sosyal adalet tartışmaları gündeme gelebilir. Ayrıca sağlık harcamalarının yaşlı nüfusa bağımlı artması, harcama bileşimini yeniden şekillendirebilir.

Enflasyonun farklı gelir gruplarını farklı şekilde etkilediği bulgusu da sosyal transferlerin değerinin korunması açısından önemlidir. OECD çalışmasına göre yüksek enflasyon dönemlerinde düşük gelirli hanehalkları daha yüksek enflasyon oranlarıyla karşılaşmakta ve enflasyon farkı enerji fiyatlarının düşmesine rağmen kalıcı olabilmektedir. Bu durum, sosyal

güvenlik ödemelerinin enflasyona endekslenmesinin ve düşük gelir gruplarına yönelik ek desteklerin önemini ortaya koyar.

Çalışmanın sınırlamalarından biri, SWIID verisinin erişiminde teknik güçlükler nedeniyle bazı ülke-yıl gözlemlerinin kullanılamamasıdır. Veri setinin tamamı panel analizine dâhil edilememiş, bunun yerine Dünya Bankası Gini endeksi kullanılmıştır. Bu nedenle yeniden dağıtım göstergesi ile doğrudan sosyal harcamaların ilişkisinin bazı boyutları yansıtılamamıştır. Gelecekte SWIID verisinin tam kapsamlı kullanımına imkan verecek araçlar geliştirildiğinde, modelin daha geniş bir ülke ve dönem setiyle tekrarlanması mümkün olacaktır.

7. SONUÇ

Bu çalışma, OECD'ye üye 10 ülkenin 1980-2023 dönemine ilişkin sosyal güvenlik harcamaları ve gelir eşitsizliği verilerini analiz ederek sosyal harcamaların yeniden dağıtım etkinliğini değerlendirmiştir. Sosyal harcamaların toplam düzeyi ile yeniden dağıtım arasındaki ilişki zayıf bulunurken, harcama bileşiminin önemi vurgulanmıştır. Yaşlılık ve sağlık programlarının payının yüksek olması yeniden dağıtım gücünü artırırken, işsizlik ve aile-çocuk programlarının etkisi ülkelere göre heterojenlik göstermektedir.
Politika açısından sonuçlar şunları göstermektedir:

11. Program bileşimi kritik önemdedir. Sosyal bütçelerin yalnızca büyüklüğüne değil, hangi programlara kaynak ayrıldığına dikkat edilmelidir. Demografik yapısı yaşlanan ülkelerde dahi aile-çocuk ve işsizlik programlarının etkin tasarımı eşitsizliği azaltabilir.
12. Gelir eşitsizliğinin başlangıç düzeyi politika etkilerini değiştirir. Eşitsizlik düzeyi yüksek olan ülkelerde yaşlılık ve sağlık harcamalarının artırılması kısa vadede yeniden dağıtımı güçlendirebilir; ancak mali sürdürülebilirlik ve kuşaklar arası adalet açısından dikkatli olunmalıdır.
13. Makroekonomik ortam dikkate alınmalıdır. Enflasyon ve işsizlik oranları gibi makro göstergeler sosyal harcamaların etkinliğini şekillendirir. Özellikle yüksek enflasyon dönemlerinde sosyal yardımların satın alma gücünü korumak için endeksleme mekanizmaları gereklidir.
14. Açık veri ve yeniden üretilebilirlik önemlidir. SOCX ve SWIID gibi açık veri tabanları, politika analizlerinin şeffaflığını ve yeniden üretilebilirliğini artırır. Ancak veri erişilebilirliği ve standardizasyon sorunları devam etmektedir.

Sonuç olarak, sosyal güvenlik sistemlerinin gelir dağılımına etkisi çok boyutlu bir konudur ve politika tasarımında bileşim yaklaşımı büyük önem taşır. Bu çalışma, sosyal harcamaların bileşimini analiz eden ve yeniden dağıtım üzerindeki etkilerini değerlendiren bir ampirik çerçeve sunarak literatüre katkıda bulunmuştur. Gelecek araştırmalarda, daha geniş ülke setleri ve mikro verilerin kullanımının yanı sıra eğitim, sağlık ve vergi politikaları arasındaki etkileşimlerin de incelenmesi önerilmektedir.

Kaynakça

OECD. (2025).*Social Expenditure Database (SOCX)* [Dataset]. Organisation for Economic Co-operation and Development. Retrieved December 23, 2025, from https://www.oecd.org/en/data/datasets/social-expenditure-database-socx.html OECD

OECD. (2025).*Social spending* [Indicator]. Organisation for Economic Co-operation and Development. Retrieved December 23, 2025, from https://www.oecd.org/en/data/indicators/social-spending.html OECD

OECD. (2025).*Social expenditure dashboard*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Retrieved December 23, 2025, from https://www.oecd.org/en/data/dashboards/social-expenditure-dashboard.html OECD

Solt, F. (2025). *Standardized World Income Inequality Database (SWIID)* (Version 9.9, June 2025) [Dataset]. Retrieved December 23, 2025, from https://fsolt.org/swiid/ Frederick Solt

Rios-Avila, F., Siles, L., & Canavire-Bacarreza, G. (2024). *Estimating quantile regressions with multiple fixed effects through method of moments* (IZA Discussion Paper No. 17262). Institute of Labor Economics (IZA). https://docs.iza.org/dp17262.pdf docs.iza.org

Caisl, J., Hermida, L., Levy, H., & Menyhért, B. (2023). *The uneven impact of high inflation* (OECD Papers on Well-being and Inequalities, No. 18). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/4ca48f7c-en OECD

OECD. (2025).*Old-age dependency ratio* [Indicator]. Organisation for Economic Co-operation and Development. Retrieved December 23, 2025, from https://www.oecd.org/en/data/indicators/old-age-dependency-ratio.html OECD

OECD. (2025).*Unemployment rate* [Indicator]. Organisation for Economic Co-operation and Development. Retrieved December 23, 2025, from https://www.oecd.org/en/data/indicators/unemployment-rate.html OECD

Ulu, M. İ. (2018). The effect of government social spending on income inequality in OECD: A panel data analysis. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi, 1*(3), 184–202.

Kars İlinde Süt Sığırı İşletmelerinde Yetiştiricilerin Öğrenim Durumunun Kolostrum Yönetimi, Sütten Kesme Yaşı ve Sağım Uygulamalarına Etkisi

Veteriner Hekim Bahar GÜLBUDAK
Edirne Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü
E-mail: bhrglbdk@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0001-5606-2604

Doç. Dr. Buket BOĞA KURU
Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Zootekni Anabilim Dalı
E-mail: buketboga@gmail.com - ORCID ID 0000-0002-7170-270X

ÖZET

Bu çalışma, Kars ilinde bulunan süt sığırı işletmelerinde, yetiştiricilerin öğrenim durumunun kolostrum yönetimi, sütten kesme yaşı ve sağım uygulamaları üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Araştırmanın materyalini, farklı öğrenim düzeylerine sahip 160 yetiştiriciden yüz yüze anket yöntemiyle elde edilen veriler oluşturmuştur. Anket kapsamında; buzağılara kolostrum verilme durumu, kolostrumun ilk verilme zamanı, sütten kesilme yaşı, sağım sırasında buzağıların annelerine verilme durumu, günlük sağım sayısı, kullanılan sağım yöntemi ve sağım öncesi meme temizliği uygulamaları değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerin istatistiksel analizi Pearson Ki-Kare (χ^2) testi kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, yetiştiricilerin öğrenim durumu ile kolostrum verilme durumu, kolostrumun ilk verilme zamanı ve buzağıların sütten kesilme yaşı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($P>0,05$). Benzer şekilde, sağım sırasında buzağıların annelerine verilme durumu, günlük sağım sayısı, kullanılan sağım yöntemi ve sağım öncesi meme temizliği uygulamaları bakımından da öğrenim durumuna bağlı istatistiksel bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0,05$). Sonuç olarak, Kars ilindeki süt sığırı işletmelerinde yetiştiricilerin öğrenim düzeyinden bağımsız olarak kolostrum yönetimi, sütten kesme yaşı ve sağım uygulamalarına önem verdikleri görülmüştür. Bu durum, bölgede söz konusu uygulamaların büyük ölçüde deneyim ve geleneksel bilgi birikimine dayalı olarak sürdürüldüğünü düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: Kars, süt sığırı işletmeleri, kolostrum yönetimi, sağım uygulamaları, öğrenim durumu.

The Effect of Farmers' Education Level on Colostrum Management, Weaning Age, and Milking Practices in Dairy Cattle Farms in Kars Province

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of farmers' education level on colostrum management, weaning age, and milking practices in dairy cattle farms located in Kars Province, Türkiye. The material of the study consisted of data obtained through face-to-face questionnaires administered to 160 farmers with different education levels. The questionnaire included items related to colostrum feeding practices, including whether colostrum was provided and the timing of first colostrum intake, weaning age, the practice of allowing calves to suckle their dams during milking, daily milking frequency, milking method, and udder hygiene practices before milking. Statistical analyses of the collected data were performed using the Pearson Chi-square (χ^2) test. According to the results, no statistically significant differences were found between farmers' education level and colostrum feeding status, timing of first colostrum intake, or weaning age ($P>0.05$). Similarly, no significant associations were detected between education level and allowing calves to suckle during milking, daily milking frequency, milking method, or pre-milking udder hygiene practices ($P>0.05$). In conclusion, the findings indicate that farmers in dairy cattle farms in Kars Province attach importance to colostrum management, weaning age, and milking practices regardless of their education level. This suggests that these practices are largely maintained based on experience and traditional knowledge, rather than formal education alone.

Keywords: Kars Province, dairy cattle farms, colostrum management, weaning age, milking practices, education level

GİRİŞ

Kars ili, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan ve ekonomik yapısı büyük ölçüde tarım ve hayvancılığa dayalı bir bölgededir. Bölgede süt sığırcılığı önemli bir üretim kolunu oluşturmakta olup, yapılan saha çalışmalarında Kars ilindeki süt sığırcılığı işletmelerinde işletme başına ortalama yaklaşık 14 baş süt ineği bulunduğu ve günlük ortalama süt veriminin yaklaşık 7 kg civarında olduğu bildirilmiştir. Bu veriler, bölgede küçük ve orta ölçekli aile işletmeciliğinin yaygın olduğunu göstermektedir (Demir ve ark., 2014). Kars yöresinde yürütülen başka bir çalışmada ise süt sığırcılığı işletmelerinin yapısal ve sosyo-ekonomik özellikleri değerlendirilmiş; sürü büyüklüğü, besleme yönetimi ve barınak koşulları gibi temel üretim parametrelerinin işletmeler arasında belirgin farklılıklar gösterdiği rapor edilmiştir (Erdoğan ve ark., 2004). Daha güncel bir araştırmada ise bölgede yetiştiricilerin önemli bir bölümünün ileri yaş grubunda yer aldığı ve işletmelerin çoğunlukla orta ölçekli sürü yapısına

sahip olduğu bildirilmiştir (Özdemir ve ark., 2024). Bu bulgular, bölgedeki yönetim uygulamalarının yetiştiricilerin sosyo-demografik özellikleri ve bilgi düzeyi ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Süt sığırı işletmelerinde buzağı yetiştiriciliğinin başarısı büyük ölçüde neonatal dönemde uygulanan yönetim stratejilerine bağlıdır. Bu dönemin en kritik basamağını kolostrum yönetimi oluşturmaktadır. Kolostrumun doğum sonrası ilk saatlerde yeterli miktarda ve uygun hijyen koşullarında verilmesi, immünoglobulin emilimi yoluyla pasif bağışıklığın başarısı için temel bir gerekliliktir ve bu uygulama buzağı sağkalımı ile doğrudan ilişkilidir (Godden, 2008; Godden, 2019). Yetersiz veya gecikmiş kolostrum uygulamalarının serum immünoglobulin düzeylerini düşürdüğü ve morbidite ile mortalitenin artışına neden olduğu saha ve klinik çalışmalarla ortaya konmuştur (Lombard ve ark., 2020; Barry ve ark., 2019).

Buzağılarda sütten kesme yaşı da büyüme performansı ve sindirim sistemi gelişimi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Çeşitli çalışmalarda sütten kesme zamanlamasının işletmeler arasında değişkenlik gösterdiği, ancak uygun besleme ve yönetim koşullarında erken dönemde başarılı sütten kesmenin büyüme performansı ve ilerleyen dönem verimlilik üzerine olumlu etkiler oluşturabildiği bildirilmektedir (Schwarzkopf ve ark., 2019). Süt sığırı işletmelerinde sağım uygulamaları ise yalnızca süt verimini değil, aynı zamanda meme sağlığı ve süt hijyenini de doğrudan etkilemektedir. Sağım öncesi uygun meme temizliği, uygun sağım yöntemi ve sağım sıklığının uygulanması mastitisin kontrolü ve süt kalitesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir (Ruegg, 2017).

Bu nedenle Kars ili gibi süt sığırcılığının yoğun olarak yapıldığı bölgelerde yetiştiricilerin eğitim/öğrenim düzeyi ile kolostrum yönetimi, sütten kesme yaşı ve sağım uygulamaları arasındaki ilişkinin ortaya konması; bölgesel yayım-eğitim stratejilerinin oluşturulması ve işletme yönetim kalitesinin artırılması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Kars ilindeki süt sığırcılığı işletmelerinde yetiştiricilerin öğrenim durumunun kolostrum yönetimi, sütten kesme yaşı ve sağım uygulamaları üzerine etkisi anket verileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Araştırma Bölgesi ve Çalışma Popülasyonu

Bu çalışma, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan ve süt sığırcılığının yoğun olarak yapıldığı Kars ilinde yürütülmüştür. Araştırmanın materyalini, il genelinde faaliyet gösteren süt sığırcılığı işletmelerinde görev yapan yetiştiricilerden elde edilen veriler oluşturmuştur.

Veri Toplama Yöntemi

Araştırmada veri toplama aracı olarak yapılandırılmış anket formu kullanılmıştır. Anketler, süt sığırcılığı işletmelerinde aktif olarak faaliyet gösteren ve karar süreçlerinde rol alan yetiştiriciler ile yüz yüze görüşme yöntemi ile uygulanmıştır.

Anket formunda;

- yetiştiricilerin öğrenim durumu,
- buzağılara kolostrum verilme durumu,
- kolostrumun ilk verilme zamanı,
- sütten kesilme yaşı,
- sağım sırasında buzağıların annelerine verilme durumu,
- günlük sağım sayısı,
- kullanılan sağım yöntemi ve
- sağım öncesi meme temizliği uygulamaları ile ilgili sorular yer almıştır.

Toplam 160 yetiştiriciden elde edilen anket formları değerlendirmeye alınmıştır.

Değişkenlerin Sınıflandırılması

Çalışmada bağımsız değişken olarak yetiştiricilerin öğrenim durumu kullanılmıştır. Bağımlı değişkenler ise; kolostrum uygulamaları, sütten kesme yaşı ve sağım uygulamalarına ilişkin ifadelerden oluşturulmuştur. Anket yanıtları analiz öncesinde kategorik değişkenler hâline getirilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Elde edilen veriler SPSS paket programında değerlendirilmiştir. Yetiştiricilerin öğrenim durumu ile kolostrum yönetimi, sütten kesme yaşı ve sağım uygulamalarına ilişkin değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde Pearson Ki-Kare (χ^2) testi kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $P<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR

Kolostrum Verilme Durumu

Yetiştiricilerin öğrenim durumu ile buzağılara kolostrum verilme durumu karşılaştırıldığında, tüm öğrenim gruplarında kolostrum uygulamasının yaygın olduğu ve kolostrum vermeyen işletme oranının oldukça düşük düzeyde kaldığı belirlenmiştir. Yapılan Ki-Kare analizi sonucunda, öğrenim durumu ile kolostrum verilme durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (P>0,05) (Tablo 1).

Tablo 1. Yetiştiricilerin öğrenim durumuna göre kolostrum verilme durumu

Öğrenim Durumu	Kolostrum Verme		χ^2	P değeri
	Evet n (%)	Hayır n (%)		
Okuma–yazma yok	2 (100,0)	0 (0,0)	1,315	0,859
İlkokul	78 (98,7)	1 (1,3)		
Ortaokul	34 (97,1)	1 (2,9)		
Lise	36 (100,0)	0 (0,0)		
Üniversite/Yüksek lisans vb.	8 (100,0)	0 (0,0)		
Toplam	158 (98,8)	2 (1,3)		

Kolostrumun İlk Verilme Zamanı

Kolostrumun ilk verilme zamanı incelendiğinde, yetiştiricilerin çoğunluğunun kolostrumu doğumu izleyen ilk 1–3 saat içerisinde uyguladığı belirlenmiştir. Öğrenim düzeyi arttıkça ilk saat içerisinde kolostrum verme oranında yükselme eğilimi görülmekle birlikte, bu farklılık istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır (P>0,05) (Tablo 2).

Tablo 2. Yetiştiricilerin öğrenim durumuna göre kolostrumun ilk verilme zamanı

Öğrenim Durumu	1 saat n (%)	2–3 saat n (%)	≥4 saat n (%)	χ^2	P değeri
Okuma–yazma yok	2 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	7,735	0,460
İlkokul	37 (46,8)	39 (49,4)	3 (3,8)		
Ortaokul	21 (60,0)	12 (34,3)	2 (5,7)		
Lise	23 (63,9)	11 (30,6)	2 (5,6)		
Üniversite/Yüksek lisans vb.	6 (75,0)	2 (25,0)	0 (0,0)		
Toplam	89 (55,6)	64 (40,0)	7 (4,4)		

Sütten Kesilme Yaşı

Buzağıların sütten kesilme yaşı ile öğrenim durumu arasındaki ilişki değerlendirildiğinde, tüm eğitim gruplarında sütten kesmenin ağırlıklı olarak 3–6 ay arasında gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Gruplar arasında dağılım farklılıkları olmasına rağmen bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir (P>0,05) (Tablo 3).

Tablo 3. Yetiştiricilerin öğrenim durumuna göre buzağıların sütten kesilme yaşı

Öğrenim Durumu	2 ay n (%)	3 ay n (%)	6 ay n (%)	≥9 ay n (%)	χ^2	P değeri
Okuma–yazma yok	0 (0,0)	0 (0,0)	2 (100,0)	0 (0,0)	5,913	0,920
İlkokul	1 (1,3)	21 (26,6)	41 (51,9)	16 (20,3)		
Ortaokul	0 (0,0)	7 (20,0)	19 (54,3)	9 (25,7)		
Lise	0 (0,0)	11 (30,6)	19 (52,8)	6 (16,7)		
Üniversite / Yüksek lisans vb.	0 (0,0)	1 (12,5)	4 (50,0)	3 (37,5)		
Toplam	1 (0,6)	40 (25,0)	85 (53,1)	34 (21,3)		

Sağım Sırasında Buzağının Anneye Verilmesi

Sağım sırasında buzağıların annelerine verilme durumu açısından öğrenim grupları karşılaştırıldığında, gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir (P>0,05) (Tablo 4).

Tablo 4. Yetiştiricilerin öğrenim durumuna göre sağımda buzağıların annelerine verilmesi

Öğrenim Durumu	Evet n (%)	Hayır n (%)	χ^2	P değeri
Okuma–yazma yok	2 (100,0)	0 (0,0)	3,845	0,427
İlkokul	72 (91,1)	7 (8,9)		
Ortaokul	34 (97,1)	1 (2,9)		
Lise	31 (86,1)	5 (13,9)		
Üniversite / Yüksek lisans vb.	8 (100,0)	0 (0,0)		
Toplam	147 (91,9)	13 (8,1)		

Günlük Sağım Sayısı

Günlük sağım sayısının öğrenim düzeyine göre dağılımında, tüm eğitim gruplarında işletmelerin büyük çoğunluğunda günde iki kez sağım yapıldığı tespit edilmiştir. Eğitim düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır (P>0,05) (Tablo 5).

Tablo 5. Yetiştiricilerin öğrenim durumuna göre günlük sağım sayısı

Öğrenim Durumu	1 kez n (%)	2 kez n (%)	3 kez n (%)	χ^2	P değeri
Okuma–yazma yok	0 (0,0)	2 (100,0)	0 (0,0)	2,980	0,936
İlkokul	3 (3,8)	75 (94,9)	1 (1,3)		
Ortaokul	1 (2,9)	34 (97,1)	0 (0,0)		
Lise	1 (2,8)	35 (97,2)	0 (0,0)		
Üniversite / Yüksek lisans vb.	1 (12,5)	7 (87,5)	0 (0,0)		
Toplam	6 (3,8)	153 (95,6)	1 (0,6)		

Sağım Yöntemi

Sağım yöntemi değerlendirildiğinde, eğitim düzeyinden bağımsız olarak yetiştiricilerin önemli bir kısmının elle sağım yaptığı; bunu makine ile sağım ve her iki yöntemi birlikte kullanan işletmelerin izlediği belirlenmiştir. Ancak öğrenim düzeyi ile sağım yöntemi arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir (P>0,05) (Tablo 6).

Tablo 6. Yetiştiricilerin öğrenim durumuna göre kullanılan sağım yöntemi

Öğrenim Durumu	Elle sağım n (%)	Makine ile sağım n (%)	Hem elle hem makine n (%)	χ^2	P değeri
Okuma–yazma yok	2 (100,0)	0 (0,0)	0 (0,0)		
İlkokul	52 (65,8)	25 (31,6)	2 (2,5)		
Ortaokul	24 (68,6)	10 (28,6)	1 (2,9)	5,632	0,688
Lise	20 (55,6)	13 (36,1)	3 (8,3)		
Üniversite / Yüksek lisans vb.	4 (50,0)	3 (37,5)	1 (12,5)		
Toplam	102 (63,8)	51 (31,9)	7 (4,4)		

Sağım Öncesi Meme Temizliği

Sağım öncesi meme temizliği uygulaması incelendiğinde, eğitim düzeyi arttıkça meme temizliği yapan yetiştirici oranında artış olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte bu artışın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir (P>0,05) (Tablo 7).

Tablo 7. Yetiştiricilerin öğrenim durumuna göre sağım öncesi meme temizliği uygulaması

Öğrenim Durumu	Evet n (%)	Hayır n (%)	χ^2	P değeri
Okuma–yazma yok	1 (50,0)	1 (50,0)		
İlkokul	71 (89,9)	8 (10,1)		
Ortaokul	28 (80,0)	7 (20,0)	7,508	0,111
Lise	34 (94,4)	2 (5,6)		
Üniversite / Yüksek lisans vb.	6 (75,0)	2 (25,0)		
Toplam	140 (87,5)	20 (12,5)		

SONUÇ

Bu çalışma, Kars ilindeki süt sığırcılığı işletmelerinde uygulanan temel yetiştiricilik pratiklerinin, yetiştiricilerin öğrenim düzeyinden bağımsız olarak büyük ölçüde yerleşmiş ve benzer şekilde sürdürülen bir yapı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, bölgede geleneksel bilgi ve deneyimin hâlen önemli bir belirleyici olduğunu düşündürmektedir.

Bu bağlamda, bölgede yürütülecek eğitim ve yayım çalışmalarının yalnızca formel eğitim düzeyine odaklanmak yerine, mevcut saha pratiklerini dikkate alan, uygulamaya dönük ve yerel bilgi birikimiyle uyumlu programlar şeklinde planlanması önerilmektedir. Ayrıca kayıt tutma, hijyen uygulamaları ve teknik destek hizmetlerinin güçlendirilmesi, süt sığırcılığında daha sürdürülebilir ve verimli bir işletmecilik yapısının oluşmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Barry, J., Bokkers, E. A. M., Berry, D. P., de Boer, I. J. M., McClure, J., & Kennedy, E. (2019). Associations between colostrum management, passive immunity, calf-related hygiene practices, and rates of mortality in preweaning dairy calves. *Journal of Dairy Science, 102*(11), 10266–10276. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16815

Demir, P., Aral, Y., & Sarıözkan, S. (2014). Kars İlİ süt sığırcılık işletmelerinin sosyo-ekonomik yapısı ve üretim maliyetleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 25*(1), 1–6.

Erdoğan, H. M., Çitil, M., Güneş, V., & Saatci, M. (2004). Dairy cattle farming in Kars district, Turkey: I. Characteristics and production. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 28*(4), 735–743.

Godden, S. M. (2008). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 24*(1), 19–39. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.005

Godden, S. M. (2019). Colostrum management in dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 35*(3), 535–556. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005

Lombard, J. E., Urie, N. J., Garry, F. B., Godden, S. M., Quigley, J., Earleywine, T. J., McGuirk, S., Moore, D., Branan, M., Chamorro, M., Smith, G., Shivley, C., Catherman, D., Haines, D., & Sterner, K. (2020). Consensus recommendations on calf-level passive immunity status. *Journal of Dairy Science, 103*(8), 7611–7624. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17955

Özdemir, V. F., Tarhan, O., & Bayram, B. (2024). Farm management and socio-economic structure of cattle enterprises in Eastern Anatolia: A case study of Selim district, Kars Province. *Journal of Agricultural Production, 5*(4), 272–282. https://doi.org/10.56430/japro.1524942

Ruegg, P. L. (2017). A 100-year review: Mastitis detection, management, and prevention. *Journal of Dairy Science, 100*(12), 10381–10397. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13023

Schwarzkopf, S., Aschenbach, J. R., & Gaillard, C. (2019). Effects of different weaning strategies on performance and health of dairy calves. *Animals, 9*(12), 1132. https://doi.org/10.3390/ani9121132

Süt Sığırı İşletmelerinde Yetiştirici Yaşı Kolostrum Yönetimini, Sütten Kesme Yaşını ve Sağım Uygulamalarını Etkiler mi? Kars İli Örneği

Veteriner Hekim Bahar GÜLBUDAK
Edirne Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü
E-mail: bhrglbdk@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0001-5606-2604

Doç. Dr. Buket BOĞA KURU
Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Zootekni Anabilim Dalı
E-mail: buketboga@gmail.com - ORCID ID 0000-0002-7170-270X

ÖZET

Bu çalışma, Kars ilinde bulunan süt sığırı işletmelerinde, yetiştirici yaşının kolostrum yönetimini, sütten kesme yaşını ve sağım uygulamalarını etkileyip etkilemediğini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Araştırmanın materyalini, farklı yaş gruplarında yer alan 160 yetiştiriciden yüz yüze anket yöntemiyle elde edilen veriler oluşturmuştur. Anket kapsamında; buzağılara kolostrum verilme durumu, kolostrumun ilk verilme zamanı, sütten kesilme yaşı, sağım sırasında buzağıların annelerine verilme durumu, günlük sağım sayısı, kullanılan sağım yöntemi ve sağım öncesi meme temizliği uygulamaları değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerin istatistiksel analizi Pearson Ki-Kare (χ^2) testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yetiştirici yaşı ile kolostrum verilme durumu, kolostrumun ilk verilme zamanı ve buzağıların sütten kesilme yaşı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($P>0,05$). Benzer şekilde, sağım sırasında buzağıların annelerine verilme durumu ve kullanılan sağım yöntemi bakımından da yaş grupları arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0,05$). Buna karşın, günlük sağım sayısı ($P<0,05$) ve sağım öncesi meme temizliği uygulamaları ($P<0,05$) açısından yetiştirici yaşına bağlı istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Sonuç olarak, Kars ilindeki süt sığırı işletmelerinde kolostrum yönetimi ve sütten kesme yaşının yetiştirici yaşından büyük ölçüde bağımsız olduğu, ancak bazı sağım uygulamalarının yaşa bağlı olarak değişiklik gösterebildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kars, süt sığırı işletmeleri, yetiştirici yaşı, kolostrum yönetimi, sütten kesme yaşı, sağım uygulamaları.

Does Farmers' Age Affect Colostrum Management, Weaning Age, and Milking Practices in Dairy Cattle Farms? A Case Study from Kars Province

ABSTRACT

This study aimed to evaluate whether farmers' age affects colostrum management, weaning age, and milking practices in dairy cattle farms located in Kars Province, Türkiye. The material of the study consisted of data obtained through face-to-face questionnaires conducted with 160 farmers from different age groups. The questionnaire included questions related to colostrum management, such as whether colostrum was provided to calves and the timing of first colostrum intake, weaning age, the practice of allowing calves to suckle their dams during milking, daily milking frequency, milking method, and pre-milking udder hygiene practices. Statistical analyses were performed using the Pearson Chi-square (χ^2) test. According to the results, no statistically significant differences were found between farmers' age and colostrum feeding status, timing of first colostrum intake, or weaning age ($P>0.05$). Similarly, farmers' age did not have a significant effect on allowing calves to suckle during milking or on the milking method used ($P>0.05$). In contrast, daily milking frequency ($P<0.05$) and pre-milking udder hygiene practices ($P<0.05$) showed statistically significant differences among age groups. In conclusion, colostrum management and weaning age in dairy cattle farms in Kars Province appear to be largely independent of farmers' age, whereas certain milking practices may vary according to age, suggesting age-related differences in routine management behaviors.

Keywords: Kars Province, dairy cattle farms, farmers' age, colostrum management, weaning age, milking practices

GİRİŞ

Anket çalışmaları, belirli bir popülasyondaki bilgi düzeyi, tutum ve uygulamaları değerlendirmek amacıyla sık kullanılan ve elde edilen bulguların temsili örneklem yoluyla genellenmesine imkân tanıyan önemli bir araştırma yöntemidir. Veteriner bilimlerinde saha verisine ulaşmada yaygın olarak kullanılan bu yaklaşım; uygun örnekleme, dikkatli anket tasarımı ve doğru istatistiksel analizlerle desteklendiğinde güvenilir ve geçerli sonuçlar üretmektedir (Yang, 2021). Nitekim literatürde yer alan geniş ölçekli çalışmalar, anket verilerinin yalnızca demografik özellikleri değil, aynı zamanda yönetim uygulamaları, davranışsal eğilimler ve mesleki tutumlar hakkında da önemli bilgiler sağladığını bildirmektedir (Huntley et al., 2016; Yang, 2021). Ayrıca yakın dönemde yapılan ulusal

düzeydeki anket sonuçları, doğru tasarlanmış anketlerin toplumsal algıyı güvenilir biçimde ortaya koyabildiğini ve özellikle veteriner hekimlerin kamuoyunda en güvenilir bilgi kaynağı olarak öne çıktığını göstermektedir (Thompson-Iritani et al., 2025).

Kars ili, geniş çayır–mera alanları ve kırsal nüfus yapısı nedeniyle Türkiye'nin önemli hayvancılık merkezlerinden biri olarak tanımlanmakta ve özellikle süt sığırcılığı bölge ekonomisinde belirleyici bir role sahip bulunmaktadır (Demir, 2010). Ancak bölgede yapılan araştırmalar, süt sığırcılığı işletmelerinin büyük çoğunluğunun küçük ölçekli ve geleneksel yapıda olduğunu, buna bağlı olarak verim düzeyi ve işletme etkinliğinde önemli sınırlamalar bulunduğunu bildirmektedir (Demir & Aral, 2009; Demir, Aral & Sarıözkan, 2014). Yem kullanımı, besleme alışkanlıkları ve teknik bilgi düzeyindeki eksikliklerin üretim verimliliğini olumsuz etkilediği; buna karşın kaba yem üretimi ve mera olanaklarının doğru yönetilmesi durumunda üretim maliyetlerinin önemli ölçüde iyileştirilebileceği ifade edilmektedir (Demir et al., 2013). Öte yandan bölgedeki süt sanayi işletmelerinde üretim–sanayi entegrasyonunun yeterince sağlanamaması ve pazarlama zincirindeki aksaklıkların üretici gelirini sınırlayan önemli bir sorun olduğu bildirilmektedir (Demir, 2010). Bölgenin yalnızca süt üretimi değil, aynı zamanda besi sığırcılığı açısından da önemli bir potansiyele sahip olduğu; ancak entansif besi işletmelerinde kapasite kullanım oranlarının görece düşük olduğu ve maliyet yapısının üretici açısından baskı yarattığı belirlenmiştir (Aydın & Sakarya, 2012; Aydın et al., 2012). Son olarak Ardahan ve Kars illerinde yürütülen çalışmalarda, sektörün yapısal sorunlarının devam ettiği, modernizasyon, örgütlenme ve eğitim desteklerinin bölgede hayvancılığın sürdürülebilirliği açısından kritik önemde olduğu vurgulanmaktadır (Güven, 2021).

Kolostrumun doğumdan sonraki ilk saatlerde ve yeterli miktarda verilmesi, buzağılarda pasif bağışıklığın sağlanması, hastalık insidansının azaltılması ve yaşama gücünün artırılması açısından kritik öneme sahiptir; geciken veya yetersiz kolostrum uygulamasının ise pasif bağışıklık yetersizliği ve artmış neonatal morbidite ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Godden, 2008; Godden et al., 2019; Lombard et al., 2020). Buzağıların sütten kesilme yaşının ve uygulanan sütten kesim stratejisinin rumen gelişimi, büyüme performansı, metabolik uyum, davranış ve refah üzerinde belirleyici etkiler yarattığı; süt tüketim miktarı ve başlangıç yemi tüketiminin buzağı performansını doğrudan şekillendirdiği vurgulanmaktadır (Rahimi et al., 2023; Welk et al., 2024). Bunun yanında sağımın elle veya makine ile yapılması, sağım sıklığı ve özellikle sağım öncesi meme başı hijyeni uygulamaları süt verimi, somatik hücre sayısı, meme sağlığı ve süt kalitesi ile yakından ilişkili olup, uygun sağım ve hijyen protokollerinin bakteri ve spor bulaşını anlamlı düzeyde azaltabildiği ortaya konmuştur (Bava et al., 2017;

Burtscher et al., 2023; Singh & Ramachandran, 2020). Literatürde ortaya konan bu bulgular, kolostrum yönetimi, sütten kesme uygulamaları ve sağım hijyeninin hem buzağı sağlığı hem de süt üretim güvenliği açısından temel belirleyiciler olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, Kars yöresinde süt sığırcılığı işletmelerinde kolostrum uygulaması ve verilme zamanı, buzağıların sütten kesim yaşı, sağım yöntemi ve sağım hijyeni gibi buzağı sağlığı ve süt kalitesini doğrudan etkileyen temel yetiştiricilik uygulamalarının mevcut durumunu belirlemek ve üretici uygulamalarını literatürde bildirilen bilimsel önerilerle karşılaştırarak değerlendirmektir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı ve Hedef Popülasyon

Bu çalışma, Kars ilinde süt sığırcılığı faaliyeti yürüten işletmelerde buzağı yetiştirme uygulamaları ve sağım yönetimine ilişkin mevcut durumun belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Hedef popülasyonu, Kars il merkezi ve ilçelere bağlı kırsal yerleşimlerde aktif olarak süt sığırcılığı yapan işletmeler oluşturmuştur.

Örnekleme Yöntemi ve İşletmelerin Seçimi

Araştırma kapsamına toplam 160 süt sığırcılığı işletmesi dahil edilmiştir. İşletmeler, Kars ilinde kayıtlı ve fiilen süt sığırcılığı yapan işletmeler arasından tesadüfi örnekleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma gönüllülük esasına dayalı olarak yürütülmüş, anket uygulaması öncesinde yetiştiricilere çalışmanın amacı açıklanmış ve sözlü onamları alınmıştır.

Veri Toplama Aracı (Anket Formu)

Araştırmada veri toplama aracı olarak literatür bilgileri ve benzer saha çalışmalarından yararlanılarak hazırlanan yarı yapılandırılmış bir anket formu kullanılmıştır. Anket formu iki ana bölümden oluşturulmuştur:

Birinci bölüm, yetiştirici ve işletmeye ait tanımlayıcı bilgileri kapsamakta olup; yetiştiricinin yaşı, eğitim düzeyi, yetiştiricilik deneyimi, işletmedeki hayvan sayısı ve işletme büyüklüğüne ilişkin soruları içermektedir.

İkinci bölüm ise buzağı yetiştirme ve sağım yönetimi uygulamalarına yönelik olup; buzağılara kolostrum verilip verilmediği, kolostrumun doğum sonrası verilme zamanı, buzağıların sütten

kesilme yaşı, sağım yöntemi (elle/makine), sağım sıklığı ve sağım öncesi meme hijyeni uygulamaları ile ilgili sorulardan oluşmuştur.

Veri Toplama Süreci

Anket uygulamaları araştırmacılar tarafından yüz yüze görüşme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler sırasında soruların doğru ve anlaşılır şekilde yanıtlanabilmesi için gerekli durumlarda açıklama yapılmış ve elde edilen veriler standart anket formuna kaydedilmiştir.

Verilerin Düzenlenmesi ve İstatistiksel Analiz

Anketlerden elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak değerlendirilmiştir. Verilerin analizinde öncelikle frekans ve yüzde değerlerine dayalı tanımlayıcı istatistikler kullanılmış; gerekli görülen durumlarda kategorik değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Ki-Kare (χ^2) testi uygulanmıştır. Tüm istatistiksel analizler SPSS 26.0 paket programı (IBM Corp., Armonk, NY, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

Yetiştiricilerin Yaşı ile Kolostrum Verme Durumu Arasındaki İlişki

Yetiştiricilerin yaş grupları ile buzağılara kolostrum verme durumu arasındaki ilişki incelendiğinde, tüm yaş gruplarında oldukça yüksek oranda kolostrum uygulamasının gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Özellikle 20–30 yaş ve 51 yaş ve üzeri gruptaki yetiştiricilerin %100 oranında kolostrum verdiği; 31–40 yaş grubunda %96,4 ve 41–50 yaş grubunda %98,4 oranında kolostrum uygulaması yapıldığı tespit edilmiştir. Kolostrum vermediğini ifade eden işletme oranı genel örneklem içinde oldukça düşük olup (%1,3), yalnızca iki yetiştirici tarafından bildirilmiştir. Yapılan Ki-Kare analizi sonucunda, yetiştirici yaşı ile kolostrum verme durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır (χ^2=2,196; df=3; P=0,533, Tablo 1).

Tablo 1. Yetiştirici yaşı ile kolostrum verme durumunun dağılımı

Yaş Grubu	Kolostrum Veriyor (n)	%	Kolostrum Vermiyor (n)	%	χ^2	P değeri
20–30	19	100,0	0	0,0	2,196	0,533
31–40	27	96,4	1	3,6		
41–50	60	98,4	1	1,6		
51 ve üzeri	52	100,0	0	0,0		
Toplam	158	98,8	2	1,3	-	-

Yetiştiricilerin Yaşı ile Kolostrumun İlk Verilme Zamanı Arasındaki İlişki

Yetiştirici yaşı ile kolostrumun ilk verilme zamanı arasındaki dağılım incelendiğinde, tüm yaş gruplarında kolostrumun doğum sonrası erken dönemde verilme eğiliminin yüksek olduğu görülmüştür. İlk saat içinde kolostrum verme oranı yaş grupları arasında %42,1 ile %64,3 arasında değişmekte olup özellikle 31–40 yaş grubunda daha yüksek bulunmuştur. Buna karşılık 4 saat ve sonrasında kolostrum veren işletme oranının tüm yaş gruplarında oldukça düşük düzeyde kaldığı tespit edilmiştir. Yapılan Ki-Kare analizi sonucunda yaş ile kolostrumun ilk verilme zamanı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (χ^2=6,907; df=6; P=0,329, Tablo 2).

Tablo 2. Yetiştirici yaşı ile kolostrumun ilk verilme zamanının dağılımı

Yaş Grubu	İlk 1 Saat n (%)	2–3 Saat n (%)	4 Saat ve Sonrası n (%)	χ^2	P Değeri
20–30	8 (42,1)	10 (52,6)	1 (5,3)	6,907	0,329
31–40	18 (64,3)	7 (25,0)	3 (10,7)		
41–50	34 (55,7)	25 (41,0)	2 (3,3)		
51 ve üzeri	29 (55,8)	22 (42,3)	1 (1,9)		
Genel	89 (55,6)	64 (40,0)	7 (4,4)	-	-

Yetiştiricilerin Yaşı ile Buzağıların Sütten Kesilme Yaşı Arasındaki İlişki

Yetiştirici yaş grupları ile buzağıların sütten kesilme yaşı arasındaki dağılım incelendiğinde, tüm yaş gruplarında sütten kesmenin ağırlıklı olarak 6. ay civarında yoğunlaştığı, daha erken sütten kesim uygulamalarının ise oldukça sınırlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Yaş grupları arasında bazı oran farklılıkları görülmekle birlikte, yapılan istatistiksel analiz sonucunda yetiştirici yaşı ile sütten kesim yaşı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (χ^2=6,116; df=9; P=0,728, Tablo 3).

Tablo 3. Yetiştirici yaşı ile sütten kesim yaşının dağılımı

Yaş Grubu	2 ay n (%)	3 ay n (%)	6 ay n (%)	9 ay ve üzeri n (%)	χ^2	P değeri
20–30	0 (0,0)	5 (26,3)	10 (52,6)	4 (21,1)	6,116	0,728
31–40	0 (0,0)	4 (14,3)	19 (67,9)	5 (17,9)		
41–50	1 (1,6)	15 (24,6)	33 (54,1)	12 (19,7)		
51 ve üzeri	0 (0,0)	16 (30,8)	23 (44,2)	13 (25,0)		
Genel	1 (0,6)	40 (25,0)	85 (53,1)	34 (21,3)	-	-

Yetiştiricilerin Yaşı ile Sağım Sırasında Buzağıların Annelerine Verilmesi Arasındaki İlişki

Yetiştirici yaş grupları ile sağım sırasında buzağıların annelerine verilmesi uygulaması arasındaki dağılım incelendiğinde, tüm yaş gruplarında bu uygulamanın genel olarak yüksek oranda sürdürüldüğü belirlenmiştir. Oranlar arasında bazı farklılıklar görülmekle birlikte

yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda yetiştirici yaşı ile bu uygulama arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (χ^2=4,138; df=3; P=0,247, Tablo 4).

Tablo 4. Yetiştirici yaşı ile sağımda buzağıların annelerine verilmesi durumunun dağılımı

Yaş Grubu	Evet n (%)	Hayır n (%)	χ^2	P değeri
20–30	19 (100,0)	0 (0,0)	4,138	0,247
31–40	26 (92,9)	2 (7,1)		
41–50	53 (86,9)	8 (13,1)		
51 ve üzeri	49 (94,2)	3 (5,8)		
Genel	147 (91,9)	13 (8,1)	-	-

Yetiştiricilerin Yaşı ile Günlük Sağım Sayısı Arasındaki İlişki

Yetiştirici yaş grupları ile günlük sağım sayısı arasındaki dağılım incelendiğinde, tüm yaş gruplarında sağımın büyük oranda günde iki kez yapıldığı; bir kez veya üç kez sağım uygulamalarının ise oldukça sınırlı düzeyde kaldığı belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda yetiştirici yaşı ile günlük sağım sayısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır (χ^2=16,572; df=6; P=0,011, Tablo 5).

Tablo 5. Yetiştirici yaşı ile günlük sağım sayısının dağılımı

Yaş Grubu	1 kez n (%)	2 kez n (%)	3 kez n (%)	χ^2	P değeri
20–30	2 (10,5)	16 (84,2)	1 (5,3)	16,572	0,011
31–40	3 (10,7)	25 (89,3)	0 (0,0)		
41–50	1 (1,6)	60 (98,4)	0 (0,0)		
51 ve üzeri	0 (0,0)	52 (100,0)	0 (0,0)		
Genel	6 (3,8)	153 (95,6)	1 (0,6)	-	-

Yetiştiricilerin Yaşı ile Sağım Yöntemi Arasındaki İlişki

Yetiştirici yaş grupları ile kullanılan sağım yöntemi arasındaki dağılım incelendiğinde, tüm yaş gruplarında elle sağımın yaygınlığını sürdürdüğü; makine ile sağımın ise özellikle orta yaş grubunda daha yüksek oranda tercih edildiği görülmüştür. Hem elle hem makine ile sağım uygulamasının ise oldukça sınırlı düzeyde olduğu belirlenmiştir. Yapılan Ki-Kare analizi sonucunda, yetiştirici yaşı ile sağım yöntemi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (χ^2=6,307; df=6; P=0,390, Tablo 6).

Tablo 6. Yetiştirici yaşı ile sağım yönteminin dağılımı

Yaş Grubu	Elle sağım n (%)	Makine ile sağım n (%)	Hem elle hem makine n (%)	χ^2	P değeri
20–30	12 (63,2)	5 (26,3)	2 (10,5)	6,307	0,390
31–40	19 (67,9)	8 (28,6)	1 (3,6)		
41–50	35 (57,4)	25 (41,0)	1 (1,6)		
51 ve üzeri	36 (69,2)	13 (25,0)	3 (5,8)		
Genel	102 (63,8)	51 (31,9)	7 (4,4)	-	-

Yetiştiricilerin Yaşı ile Sağım Öncesi Meme Temizliği Uygulaması Arasındaki İlişki

Yetiştirici yaş grupları ile sağım öncesi meme temizliği uygulaması arasındaki dağılım incelendiğinde, tüm yaş gruplarında bu uygulamanın yüksek oranda yapıldığı, özellikle 41–50 yaş grubunda temizliğin neredeyse tüm işletmelerde uygulandığı belirlenmiştir. Yapılan Ki-Kare analizi sonucunda, yetiştirici yaşı ile sağım öncesi meme temizliği uygulaması arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır (χ^2=10,143; df=3; P=0,017, Tablo 7).

Tablo 7. Yetiştirici yaşı ile sağım öncesi meme temizliği uygulamasının dağılımı

Yaş Grubu	Evet n (%)	Hayır n (%)	χ^2	P değeri
20–30	14 (73,7)	5 (26,3)	10,143	0,017
31–40	22 (78,6)	6 (21,4)		
41–50	59 (96,7)	2 (3,3)		
51 ve üzeri	45 (86,5)	7 (13,5)		
Genel	140 (87,5)	20 (12,5)	-	-

SONUÇ

Bu çalışma, Kars ve yöresinde süt sığırcılığı yapan işletmelerde yetiştiricilerin yaş grupları ile buzağı yetiştirme uygulamaları ve sağım hijyeni alışkanlıkları arasındaki ilişkinin ortaya konulmasını amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, bölgede kolostrum uygulamasının oldukça yaygın olduğunu, büyük çoğunlukta buzağılara doğumdan sonraki ilk saatler içerisinde kolostrum verildiğini ve yetiştirici yaşının bu uygulama üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Benzer şekilde sütten kesilme yaşı açısından da yaş grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, yetiştiricilerin önemli bir bölümünün buzağıları yaklaşık altıncı ay civarında sütten kestiği belirlenmiştir. Sağım uygulamaları değerlendirildiğinde, günlük sağım sayısı ile yetiştirici yaşı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu, bazı yaş gruplarında günde iki kez sağım uygulamasının daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Sağım yöntemi açısından ise yaş grupları arasında anlamlı bir fark saptanmamış, bölgede elle sağımın halen yaygınlığını sürdürdüğü belirlenmiştir. Sağım hijyeni bakımından dikkat çekici bir bulgu olarak, sağım öncesi meme temizliği ile yetiştirici yaşı arasında anlamlı ilişki saptanmış ve özellikle orta yaş grubundaki yetiştiricilerde bu uygulamanın daha düzenli gerçekleştirildiği görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde, Kars yöresinde yetiştiricilerin büyük bölümünün temel buzağı yetiştirme uygulamalarını doğru zamanlamayla gerçekleştirdiği, sağım hijyeni ve sağım sıklığı konusunda ise belirli yaş gruplarında farklılaşmalar olabildiği söylenebilir. Bu sonuçlar, bölgedeki eğitim ve yayım çalışmalarının özellikle sağım hijyeni, sağım sıklığı ve modern sağım uygulamalarına geçiş konularında destekleyici şekilde planlanmasının faydalı olacağını ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

Aydın, E., & Sakarya, E. (2012). Kars ve Erzurum illeri entansif sığır besi işletmelerinin ekonomik analizi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, *18*(6), 997–1005. https://doi.org/10.9775/kvfd.2012.6917

Bava, L., Colombini, S., Zucali, M., Decimo, M., Morandi, S., Silvetti, T., Brasca, M., Tamburini, A., Crovetto, G. M., & Sandrucci, A. (2017). Efficient milking hygiene reduces bacterial spore contamination in milk. *Journal of Dairy Research*, *84*(3), 322–328. https://doi.org/10.1017/S0022029917000309

Thompson-Iritani, S. A., Gopee, N. V., Newsome, J. T., Bear, T., Skinner, B., & Preisig, P. A. (2025). A national survey on public opinions about research involving animals: Veterinarians are the most trusted source. *American Journal of Veterinary Research*, 1–11. https://doi.org/10.2460/ajvr.25.06.0190

Burtscher, J., Dreier, M., Arias-Roth, E., & Domig, K. J. (2023). Importance of pre-milking udder hygiene to reduce transfer of clostridial spores from teat skin to raw milk. *Microorganisms*, *11*(5), 1337. https://doi.org/10.3390/microorganisms11051337

Demir, P., & Aral, S. (2009). Kars ilinde faaliyet gösteren süt sığırcılık işletmelerinin karşılaştıkları sorunlar ve çözüm önerileri. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, *80*(3), 17–22.

Demir, P., & Aral, S. (2010). Kars ili süt sanayi işletmelerinde üretim ve sanayi entegrasyonunun ekonomik ve sosyo-ekonomik analizi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, *16*(4), 585–592. https://doi.org/10.9775/kvfd.2009.1179

Demir, P., Aksu Elmalı, D., Işık, S., Tazegül, R., & Ayvazoğlu, C. (2013). Kars ili süt sığırcılık işletmelerinde yem kullanımı ve hayvan besleme alışkanlıklarının ekonomik önemi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, *8*(3), 229–236.

Demir, P., Aral, Y., & Sarıözkan, S. (2014). Kars ili süt sığırcılık işletmelerinin sosyo-ekonomik yapısı ve üretim maliyetleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, *25*(1), 1–6.

Godden, S. M. (2008). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *24*(1), 19–39. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.005

Godden, S. M., Lombard, J. E., & Woolums, A. R. (2019). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *35*(3), 535–556. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005

Güven, O. (2021). Ardahan ve Kars illeri sığırcılık işletmelerinin yapısal sorunları. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *18*(2), 149–155. https://doi.org/10.25308/aduziraat.788995

Huntley, S. J., Dean, R. S., Massey, A., & Brennan, M. L. (2016). International evidence-based medicine survey of the veterinary profession. *PLOS ONE*, *11*(5), e0159732. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159732

Lombard, J. E., Urie, N. J., Garry, F. B., et al. (2020). Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *Journal of Dairy Science*, *103*(8), 7611–7624. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17955

Rahimi, A., Ghorbani, G. R., Hashemzadeh, F., et al. (2023). Impact of corn processing and weaning age on calf performance, blood metabolites, rumen fermentation, and behavior. *Scientific Reports*, *13*, 10701. https://doi.org/10.1038/s41598-023-37728-3

Singh, A., & Ramachandran, A. (2020). Assessment of hygienic milking practices and prevalence of bovine mastitis in small dairy farms of peri-urban Jaipur. *Indian Journal of Community Medicine*, *45*(Suppl 1), S21–S25. https://doi.org/10.4103/ijcm.IJCM_363_19

Welk, A., Neave, H. W., & Jensen, M. B. (2024). The effect of weaning practices on calf performance, behavior, and health—A systematic review. *Journal of Dairy Science*, *107*(8), 5237–5258. https://doi.org/10.3168/jds.2024-24521

Yang, D. (2021). Design-based approach for analysing survey data in veterinary research. *Veterinary Sciences*, *8*(6), 105. https://doi.org/10.3390/vetsci8060105

İNFLAMATUVAR BAĞIRSAK HASTALIKLARINDA OKSİDATİF STRES BELİRTEÇLERİ

Veteriner Hekim Özge AVŞAR[1]

[1]Kırıkkale Üniversitesi,
Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Veterinerlik Biyokimyası,
Kırıkkale, Türkiye
E-Mail*: ozgeavsar@outlook.com.tr- ORCID ID: 0000-0002-2600-4371

Arş.Gör.Haceli ÖCAL[2]

[2]Kırıkkale Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi,
Biyokimya Anabilim Dalı,
Kırıkkale, Türkiye

E-Mail: haceliocal@kku.edu.tr - ORCID ID:0009-0002-5437-8634

Dr.Öğr.Üyesi Ali ŞENOL[2]

[2]Kırıkkale Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi,
Biyokimya Anabilim Dalı,
Kırıkkale, Türkiye

E-Mail: alisenol@kku.edu.tr -ORCID ID:0000-0003-4080-7776

Prof.Dr.Miyase ÇINAR[2]

[2]Kırıkkale Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi,
Biyokimya Anabilim Dalı,
Kırıkkale, Türkiye

E-Mail: miyasecinar@kku.edu.tr -ORCID ID:0000-0003-3806-9938

ÖZET

İnflamatuvar bağırsak hastalıkları (İBH), Crohn hastalığı ve ülseratif koliti kapsayan; gastrointestinal sistemi etkileyen, kronik inflamasyon ve oksidatif stresin birlikte rol oynadığı kompleks patofizyolojik süreçlerle karakterize hastalıklardır. Hastalığın etiyopatogenezi tam olarak aydınlatılamamış olmakla birlikte, artmış reaktif oksijen türleri (ROT) üretimi, biyomoleküllerde oksidatif hasar, mitokondriyal disfonksiyon, antioksidan savunma sistemlerinin yetersizliği ve inflamatuvar sinyal yolaklarının aktivasyonu gibi mekanizmaların hastalık gelişimine katkıda bulunduğu kabul edilmektedir. Deneysel kolit modellerinde ROT üretimindeki artış ve antioksidan kapasitedeki azalma, intestinal epitel bütünlüğünün bozulmasına, mukozal bariyer hasarına ve inflamatuvar yanıtın şiddetlenmesine yol açmaktadır. Bu süreçte malondialdehit (MDA), total oksidan kapasite (TOK), 8-hidroksi-2′-deoksiguanozin (8-OHdG) ve protein karbonilleri gibi oksidatif hasar belirteçlerinde artış; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPx) gibi antioksidan

enzim aktivitelerinde ve total antioksidan kapasitede (TAK) azalma bildirilmektedir. Myeloperoksidaz (MPO), nötrofiller ve monositlerden salınan, hidrojen peroksit ve klorür iyonlarını kullanarak güçlü oksidan hipokloröz asit üretimini katalizleyen bir enzimdir. Artmış MPO aktivitesi, intestinal epitel hücrelerinde oksidatif hasara neden olarak bariyer bütünlüğünün bozulmasına ve inflamasyonun sürdürülmesine katkı sağlamaktadır. Deneysel kolit modellerinde MPO aktivitesi, nötrofil infiltrasyonunun kantitatif bir göstergesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Son yıllarda dinamik tiyol–disülfit homeostazı, oksidatif dengeyi yansıtan duyarlı bir biyobelirteç olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca oksidatif stres ve inflamasyona yanıtı düzenleyen NF-κB ve Nrf2 sinyal yolakları arasındaki etkileşim, İBH patogenezinde kritik bir rol oynamaktadır. Sonuç olarak, oksidatif stres belirteçlerinin değerlendirilmesi, IBH ‘de prognozun tahmini ve tedaviye yanıtın izlenmesi açısından önemli biyokimyasal göstergeler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Antioksidanlar, DNA hasarı, İnflamatuvar bağırsak hastalığı, oksidatif stres, protein oksidasyonu,

1. GİRİŞ

İnflamatuvar bağırsak hastalığı (İBH), sindirim sistemini tümüyle veya bir kısmını etkileyen kronik şekillenen hastalıktır. Etiyopatogenezi net olmamakla birlikte bağışıklık hücrelerin infiltrasyonu ile şekillenen ve bu nedenle sağaltımı klinik olarak zor olmaktadır. İnflamatuvar bağırsak hastalıklarının Ülseratif Kolit (ÜK) ve Crohn Hastalığı (CH) olmak üzere iki alt formu tanımlanmıştır (Guan ve Lan, 2018; Muro vd. 2024). İki hastalık birbirinden klinik tablo olarak ayrılmaktadır. Crohn Hastalığı’nda inflamasyon ileum ve kolonda transmural şekillenirken, ÜK’de kolon ve rektumda sadece mukozayı etkileyen inflamasyon şekillenir (Tian vd. 2017). İBH’nın sebepleri ve mekanizması tam bilinmemekle birlikte, genetik duyarlılık, çevresel faktörler, bağırsak mikrobiyatasına karşı şekillenen bağışıklık tepkileri, beslenme alışkanlıkları gibi faktörlerin rol oynadığı düşünülmektedir (Sartor, 2006).

Hem klinik araştırmalardan hem de deneysel modellerden elde edilen artan miktarda kanıt, oksidatif stres sinyallemesinin çeşitli fonksiyonel yollar aracılığıyla IBD gelişimine katkıda bulunduğunu göstermektedir. Oksidatif stres, hücrelere, DNA'ya ve proteinlere zarar verme yeteneği nedeniyle genellikle vücut için zararlı olarak görülmektedir. Zararlı etkilerine rağmen, bir miktar oksidatif stres, hücresel sinyalleme ve bağışıklık tepkisi gibi birçok fizyolojik süreç için çok önemlidir. IBD'de, oksidatif stresin hastalığın başlangıcında ve ilerlemesinde önemli bir rol oynadığına dair kanıtlar mevcuttur (Guan ve Lan , 2018)

2. SERBEST RADİKALLER

Canlılık biyokimyasında homeostaz sağlamanın en temel kriteri, yapı taşımız olan hücrenin reaksiyonlarını çözmeyi gerektirir. Canlı organizmadaki en yaygın kimyasal reaksiyonlar elektron transfer reaksiyonlarıdır (Valko, Izakovic ve Mazur, 2004). Bu reaksiyonların gerçekleşmesi esnasında eşleşmemiş elektronlar içeren ve serbest radikaller olarak adlandırılan moleküller ortaya çıkar. Serbest radikaller oksijenden, azottan ve diğer elementler tarafından

üretilir (Jomova vd.,2022). Aerobik organizmalarda tüketilen oksijenin çoğunluğu, mitokondride elektron transport zinciri reaksiyonları ile suya indirgenir. Bu indirgenme reaksiyonunda sitokrom oksidaz tarafından dört elektronlu mekanizmalarla sağlanır (Ott vd., 2007).

Tüketilen oksijenin çok azı tek elektronlu ardışık gerçekleşen reaksiyonlarla indirgenerek su molekülü yerine reaktif oksijen türlerinin oluşmasını sağlar. Oksijen molekülünün bir elektron alarak indirgenmesi ile süperoksit anyon radikaline (O_2 -), iki proton almasıyla ve tek elektron indirgenerek hidrojen peroksit (H_2O_2) oluşur. Serbest radikal grubunda olmayan hidrojen peroksit bir elektron daha alarak hidroksil radikali (HO) ve hidroksil anyonuna (OH) ayrılır. Hidroksil radikali (HO) bir elektron ve proton ile reaksiyona girerek su molekülünün oluşmasını sağlar (Marinho vd., , 2013, Sies ve Jones, 2020). Süperoksit radikallerinin mitokondri kaynağı haricinde ksantin oksidaz (XO) ve nikotinamid adenin dinükleotid (NADH) oksidazdır. Süperoksitin sulu ortamda protonlanması ile dört hidroperoksil (perhidroksil) radikali (HOO*) oluşur. Süperoksit radikalleri elektron kaybeden yani indirgeyici moleküldür. Deneysel çalışmalarda süperoksit radikallerinin biyolojik zarları geçebilme özelliği sınırlı olduğu görülmüştür (Blanksby vd., 2007). Hidrojen peroksit eşleşmemiş elektronu olmaması dolayısıyla radikal grubunda değildir. Hidrojen peroksit H_2O ve O_2 ye ışık aracılığı ile ayrılır. Dioksijenin iki elektronlu veya süperoksit radikal anyonunun bir elektronlu indirgenmesiyle süperoksit dismutazlar tarafından oluşturulabilinir (Jomova vd., 2023). Hidrojen peroksitin hücresel kaynakları sitozol, mitokondri, peroksizomlar ve endoplazmik retikulumdur (Sies,2017). Hidrojen peroksit radikalinin artışı ile nükleer faktör kappaB'nin (NF-kB) ve hücre içi önemli sinyal yollarının aktif eder (Takada vd., 2003). Hidrojen peroksitin ayrışmasını sağlayan oksidazlar peroksidazlar olarak bilinirler (Lismont vd., 2019). Hidroksil radikalleri(•OH), canlı organizmadaki yüksek oksidasyon gücü olması nedeniyle en reaktif radikallerdendir. Bu gücü organik moleküllerden bir hidrojeni ayırarak R• ve su molekünün çıkması ile sağlarlar (Ayala vd., 2014). Bağlanmamış halde bulunan bakır (Cu) ve demir (Fe) metalleri serbest redoks metalleri olarak tanımlanırlar. Hidroksil radikalinin kaynaklarından olan bu serbest redoks metalleri, Fenton reaksiyonu ve Haber-Weiss reaksiyonu ile üretirler (Meyerstein, 2021)

Yapısında metilen grubu bulunan çoklu doymamış yağ asitleri serbest radikallerle reaksiyon oluşturabilirler. Reaksiyon sonucunda karbon merkezli lipit radikalleri (R•) oluşur. Ortaya çıkan bu karbon merkezli lipit radikalleri, moleküler oksijen oluşturan lipit peroksil radikalleriyle reaksiyona girerler (Valko vd., 2005). Lipit peroksidasyon reaksiyonlarının sonucunda malondialdehit (MDA), 4-hidroksi-2-alkenal ve 2-alkenal ürünleri ortaya çıkar. Bu ürünler mutajenik ve genotoksik özellikleri nedeniyle seviyelerinin laboratuvar ortamında ölçümleri oksidatif stresin antioksidan/prooksidan oranını belirlemede veri olarak kullanılmaktadır (Michel vd., 2008) .

Azottan üretilen serbest radikallerden nitrik oksit (NO•), eşleşmemiş elektronuyla yüksüz ve lipit geçirgen özelliği gösteren oksidandır. Nitrik oksitin sentezlenmesi nitrik oksit sentaz (NOS) tarafından yapılır ve etkilerini moleküllere kovalent veya kovalent olmayan bağlarla bağlanarak gösterirler (Gantner vd., 2020). Nitrik oksitin patolojik süreçlerdeki görevini sinyal molekülü olarak devam ettirir, vazodilatasyon, nörotransmisyon, gen transkripsiyonu ve proteinlerin translasyon sonrası modifikasyonu gibi reaksiyonlarda aktif görev alır (Andrabi,

vd., 2023). Nitrik oksitin inaktivasyonu ise süperoksit radikalleri ile gerçekleşir ve reaksiyon sonucunda peroksinitrit ONOO- oluşur. Peroksinitrit ise güçlü oksidandır (Lewandowska, 2013). Peroksinitritin oksidan gücünün fazla olmasını tirozin, triptofan, metiyonin gibi aminoasitlerin oksidasyon veya nitrasyon reaksiyonları ile değiştirmesinden gelir (Bartesaghi ve Radi, 2018).

3. ANTİOKSİDANLAR

Antioksidanlar, canlı organizmadaki oksidanların neden olduğu oksidatif stres düzeyini baskılayarak veya engel olarak biyolojik moleküllerde ve dokularda oluşan hasarın önüne geçen maddelerdir (Gulcin, 2020). Antioksidanlar savunma mekanizmasını, endojen olarak enzimler yaparken, ekzojen olarak düşük moleküler ağırlığa sahip (C ve E vitamini, flavonoidler, karotenoidler gibi) maddeler yapar. Ekzojen olarak dışardan alınan antioksidan maddelerin savunma yetersizliği yeterli konsantrasyonun reaksiyon bölgesinde olmamasından kaynaklanır. Bu nedenle oksidatif stresi önlemenin en önemli basamağı serbest radikallerin oluşumunu enzimler aracılığı ile engel olmaktır (Halliwell, 2024). Oksidatif strese karşı savunma mekanizmasını sağlayacak önemli enzimler arasında SOD, CAT ile peroksiredoksin (Prx) bulunur (Ighodaro ve Akinloye, 2018). Bir diğer önemli enzim ise glutatyon peroksidaz (GPx), hidrojen peroksit'in (H_2O_2) suya (H_2O) dismutasyon reaksiyonunda substrat olarak indirgenmiş glutatyonu (GSH) oksitlenmiş formundan (GSSG) tekrar kullanımını ise glutatyon redüktaz enziminin katazörlüğünde NADPH kullanarak sağlar (Forman ve Zhang, 2021). Ekzojen olarak düşük molekül ağırlığına sahip C ve E vitamini, flavonoidler, karotenoidler serbest radikallerin hücreler üzerindeki olumsuz etkisine düşük oranda koruma sağlarlar. Bunun nedeni serbest radikallerin DNA, proteinler ve membran lipitlerine etkisi, düşük molekül antioksidanların serbest radikallere göstermiş olduğu etkiden daha hızlıdır (Halliwell, 2022).

4. PROTEİN OKSİDASYONU

Proteinler, hücre içi ve hücre dışı ortamlarda yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları ve oksidanlarla yüksek reaksiyon hızlarına sahip olmaları nedeniyle oksidatif ve nitrozatif hasarın başlıca hedefleri arasında yer almaktadır (Sultana & Butterfield, 2024). Bazı protein oksidasyon ürünlerinin kimyasal olarak stabil olması ve yüksek miktarlarda oluşabilmesi, bu bileşikleri oksidatif ve nitrozatif hasarın izlenmesinde potansiyel biyobelirteçler haline getirmektedir (Bülent vd., 2013). Artan oksidatif stres koşullarında ROS, histidin, prolin, triptofan, sistein ve tirozin gibi duyarlı amino asit kalıntılarıyla etkileşerek protein yapısında bozulmalara ve biyolojik aktivite kaybına yol açar (Laatsch vd., 2025). Serbest radikallerin proteinlerdeki sülfür içeren amino asitlerin tiyol (-SH) gruplarını okside etmesi, protein oksidasyonunun en erken gözlenebilen bulgularından biri olarak kabul edilmektedir (Kehm vd., 2021). Protein oksidasyonu, IBH patogenezinde önemli bir biyokimyasal mekanizma olarak öne çıkmaktadır (G. Wang vd., 2022). Hücresel yapı ve fonksiyonların temel bileşenleri olan proteinlerin biyolojik aktiviteleri, özellikle sülfhidril (–SH) gruplarının doğru katlanması ve korunmasına bağlıdır (Muro vd., 2024). Oksidatif stres koşullarında reaktif oksijen ve azot türlerinin (ROS/RNS) artışı, proteinlerin oksidatif modifikasyonuna yol açarak amino asit kalıntılarında değişikliklere, konformasyonel bozulmalara ve fonksiyon kaybına neden olmaktadır (Srinivas

vd., 2019). Bu bağlamda, kükürt içeren amino asitler olan sistein ve metionin oksidasyona karşı en duyarlı hedefler arasında yer almakta ve oksidasyonları protein yapısı ile işlevini doğrudan etkileyebilmektedir (Bin vd., 2017; Kim vd., 2014). Metiyonin oksidasyonu protein stabilitesini bozarak protein hidrolizi ve karbonilasyon süreçlerini artırır (Z. Wang vd., 2015). Redoks-duyarlı proteinlere örnek olarak Helicobacter pylori'de tanımlanan HP1021 proteini, sistein kalıntılarının oksidatif durumuna bağlı olarak DNA bağlanma kapasitesi değişen bir redoks anahtarı protein olarak tanımlanmıştır. Bu bulgular, protein oksidasyonunun yalnızca yapısal hasara değil, aynı zamanda gen ekspresyonunun redoks-bağımlı düzenlenmesine de katkı sağladığını göstermektedir (Szczepanowski vd., 2021). Son yıllarda tanımlanan ileri düzey okside protein ürünleri (AOPP), ditirozin içeren çapraz bağlı protein yapıları olup, protein hasarının değerlendirilmesinde güvenilir bir oksidatif stres belirteci olarak öne çıkmaktadır (Perrone vd., 2019). Artan kanıtlar, AOPP'lerin yalnızca oksidatif stresin biyobelirteçleri değil, aynı zamanda inflamatuvar süreçlerin aktif mediyatörleri olduğunu ortaya koymaktadır (Zhao vd., 2019). AOPP'lerin uzun süreli saklama koşullarında stabil kalması, biyobelirteç olarak kullanılabilirliğini artırmaktadır. İlk kez 1996 yılında kronik üremik hastaların plazmasında tanımlanan AOPP'ler, daha sonra yapısal özellikleri, farmakokinetikleri ve klinik önemleri açısından kapsamlı biçimde incelenmiştir (Selmeci, 2011). Protein oksidasyonunun ölçümünde, DNPH temelli kolorimetrik yöntemler, karbonil odaklı western blotting (oxy-blot) ve ELISA gibi immünokimyasal yaklaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle Fenton kimyası yoluyla oluşan hidroksil radikalleri, protein omurgasında parçalanmaya varan yaygın oksidatif hasara neden olabilmektedir (Verrastro vd., 2015). Proteinlerin oksidatif modifikasyonu, enzimatik aktivitenin kaybı, fonksiyonel değişiklikler, yapısal bütünlüğün kaybı ve protein agregasyonu gibi birçok etkiye neden olabilir (Demasi vd., 2021). Protein karbonilasyonu, reaktif oksijen türlerinin (ROS) belirli amino asit kalıntılarıyla etkileşimi sonucu ortaya çıkan ve protein stabilitesi ile fonksiyonunu doğrudan etkileyen temel bir oksidatif modifikasyon biçimidir (Akagawa, 2021). Bu süreç, protein omurgasının oksidatif parçalanması ya da lizin, arginin, prolin ve treonin gibi duyarlı yan zincirlerin ROS aracılı oksidasyonu yoluyla gerçekleşebilmektedir. Amino asit kalıntılarında meydana gelen bu modifikasyonlar, proteinlerin üç boyutlu yapısında bozulmalara ve enzimatik aktivitelerinde belirgin azalmaya neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, artmış protein karbonilasyonu protein agregasyonunu teşvik ederek hücresel proteostazın bozulmasına ve normal hücresel işlevlerin aksamasına katkı sağlamaktadır (Muro vd., 2024).

5. DNA HASARI

Organizmada, çeşitli yollarla oluşan serbest radikallerle antioksidan savunma sistemi denge halindedir. Bununla beraber serbest radikallerin organizmadan yeterince temizlenemediği durumlarda DNA'da hasara yol açmakta ve hasar ürünleri şekillenmektedir. Bu hasar ürünleri çeşitli metabolik hastalıklara, yaşlanmaya, kansere ve hatta genetik materyal olan DNA yapısındaki modifikasyonlara neden olabilmektedir. Mutajenitesi en çok bilinmekte olan hasar ürünlerinden bir tanesi de 8-hidroksi-2'- deoksiguanozin (8-OHdG)'dir. 1983'te DNA da mutajenik şekerle oluşturulan bağ pişirilmiş gıdalar için bir model oluşturmuştur ki buda deoksiguanozinin C-8 pozisyonunun okside olması ve 8- hidroksideoksiguanozin (8-OH-dG,7,8-dihidro8-oksodeoksiguanozin) olarak form adlandırılır. Son yıllarda oksidatif DNA

hasarının kimyası, mutajenik etkileri ve onarım mekanizmaları araştırılmıştır (Ercan ve Fidancı, 2012). Kronik inflamasyon, ROS/RNS salınımından bağımsız olarak DNA hasarına neden olabilir. Kronik inflamasyon sonucu oluşan koruyucu mukus kaybı, bağırsak geçirgenliğini toksinler ve mutajenler için artırır, mutasyonlara neden olur ve kanseri teşvik eder (Nakad ve Schumacher, 2016).

6. MYELOPEROKSİDAZ AKTİVİTESİ

Miyeloperoksidaz, esas olarak nötrofillerde ve daha az oranda monositlerde bulunan hem içeren bir peroksidazdır. Miyeloperoksidazın, Cl^-'nin H_2O_2 ile reaksiyonunu katalize ederek güçlü bir oksidan olan hipokloröz asit (HOCl) üretmesi yoluyla geniş bir bakterisidal yeteneğe sahip olduğu bilinmektedir (Chami vd., 2018; Lin vd., 2024). Bununla birlikte , MPO'dan türetilen oksidanların aşırı üretimi, özellikle akut veya kronik inflamasyonla karakterize hastalıklarda zararlı rolüne dikkat çekmiştir. Genel olarak, MPO ve ondan türetilen oksidanlar, esas olarak biyomoleküllerin oksidasyonu yoluyla hastalıkların patolojik süreçlerinde yer alır ve bu da inflamasyonu ve oksidatif stresi teşvik eder (Lin vd., 2024)

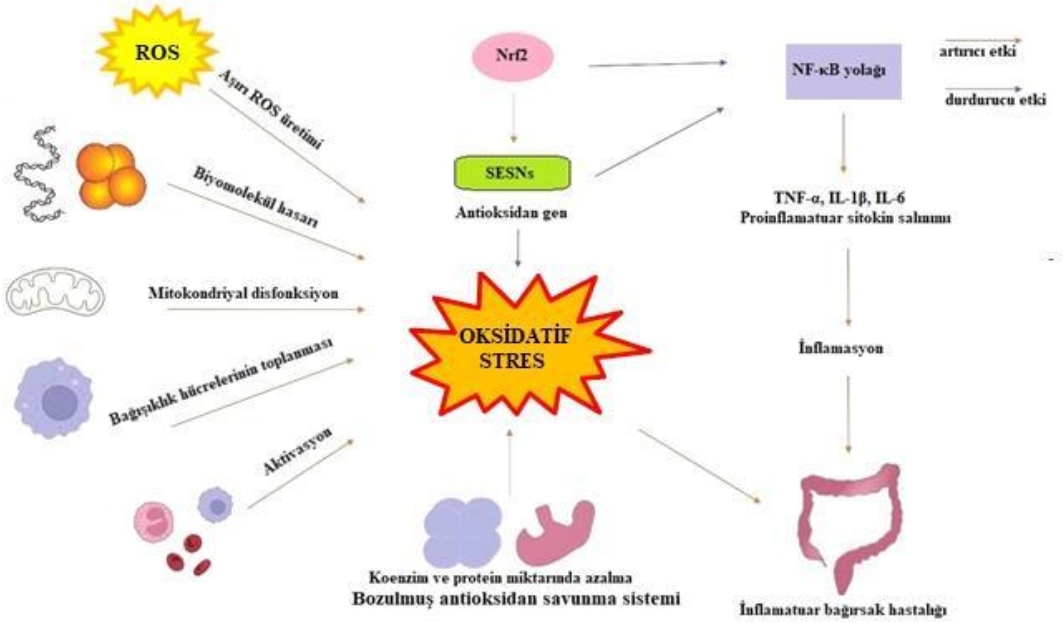
7. OKSİDATİF SRES

Prooksidanlar ve antioksidanlar arasındaki dengesizlik olarak tanımlanan oksidatif stres, inflamatuar yanıtlarla yakından ilişkilidir ve bu nedenle IBD'nin yayılması ve şiddetlenmesinde rol oynadığı düşünülmektedir. Reaktif oksijen ve azot türleri (sırasıyla ROS ve RNS) üreten aktif fagositik bağışıklık hücrelerinin mukoza dokusuna sızması, prooksidanlara doğru bir kaymaya neden olur. Temel makromoleküllere zarar vererek hücresel homeostazı bozar ve hücre hasarına ve mukoza bariyerinin geçirgenliğinin artmasına katkıda bulunur, böylece devam eden inflamasyonu hızlandırır ve sürdürür (Tian vd., 2017).

8. BAĞIRSAK HASTALIKLARINDA OKSİDATİF STRES MEKANİZMASI

Gastrointestinal sistem, serbest radikallerin üretiminde en önemli kaynak noktasıdır. Epitel tabakasının fiziksel ve antimikrobiyal bariyer olması haricinde, gıdalara karşı reaksiyonlar, patojenler ve proinflamatuvar sitokinlerin salınımını uyararak inflamasyon sürecini başlatarak oksidatif stresin oluşmasına katkı sağlar. Oksidatif stres aynı zamanda gastrointestinal sistemde görülen ülserasyon, kanser ve inflamatuvar bağırsak hastalıkların gelişimine de öncülük etmektedir (Rezvani, 2024).

İnflamatuvar bağırsak hastalığının gelişiminden sorumlu kesin mekanizmalar belirsizliğini korurken, ROS'un aşırı üretimi, biyomoleküllere verilen hasar, mitokondriyal disfonksiyon, bağışıklık hücrelerinin toplanması, bozulmuş antioksidan savunma sistemi ve inflamatuar yolların aktivasyonu dahil olmak üzere birçok faktörün etiyolojisine katkıda bulunduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Muro vd., 2024).



ŞEKİL 1: İnflamatuvar bağırsak hastalığında (İBH) oksidatif stres mekanizmasının bileşenleri (Muro vd., 2024).

Serbest radikallerin oranının artışı ve antioksidanların azalması inflamatuar bağırsak hastalığının patogenezinde de rol aldığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Bağırsak mukozasının anaerobik ortam olarak epitel hücre tabakası sayesinde fizyolojik hipoksi ortamında görevini yerine getirir. İnflamasyon sürecinin olması ile hücreler patolojik hipoksi durumuna geçer (Colgan ve Taylor, 2010, Iborra vd., 2011). İnflamasyon ile bağırsak mukozasında nötrofiller, makrofajlar ve lenfosit hücreleriyle birlikte yüksek oranda inflamatuvar hücreleri bulunur. (Naito vd., 2007). Artan lökositler tarafından üretilen serbest radikaller mukozal infiltrasyonu da olumsuz etkileyerek oksidatif stresi başlatır. Üretilen serbest radikaller, süperoksit iyonu, hidrojen peroksit ve hidroksil radikalleri ile birlikte kararsız oksijen türleridir (Tian vd., 2017).

Reaktif nitrojen türleri (RNS), nitrik oksit sentazlar (NOS) tarafından üretilen yan ürün olarak bağırsak mukozasında da bulunan ikinci serbest radikallerdendir. NOS, beş elektronlu oksidatif reaksiyon sonucunda oluştuktan sonra arjinini sitrüline dönüştürerek nitrik oksit radikalini (NO•) meydana getirir (Cinelli vd., 2020). Canlı organizmada izole edilen NOS'un üç ana izoformu mevcuttur. Bunlar, dokularda ve hücrelerde bulunanı indüklenebilir NOS (iNOS), vasküler sistemde endotelyal hücrelerde izole edilen endotelyal NOS (eNOS, sinir dokularından izole edilen formu ise nöronal NOS (nNOS)'dur (Costa vd., 2016). iNOS'un daimi olarak NO• üretme özelliği, inflamasyonlu dokuda bulunan iNOS'da da görülür. İnflamasyonlu bağırsak mukozasında da bulunan makrafojlar, lökositler ve epitel hücrelerinde yüksek oranda RNS üretilir (Binion vd., 2000). İnflamatuvar bağırsak hastalığında RNS'nin görevi, ortamda artan NO• 'in süper oksit (O2•) radikali ile reaksiyona girmesiyle peroksinitrit (ONOO-) üretimini oluşturmasıdır. ONOO- diğer kaynağı ise NOS enzimlerine sahip hücreler (endotel ve düz kas hücreleri) ve aktif lökositlerdir. Aşırı oranda üretilen ONOO- radikali proteinlerin, lipitlerin üzerinde zararlı etkisi ve DNA yapısında da bozulmalara neden olarak inflamasyonun kontrol edilemez noktaya gelmesine olanak sağlar (Ahmad vd., 2019).

Bağırsak mukozasındaki biyomolekül düzeyde gerçekleşen hasarların bir diğeri de, serbest radikallerin hücre yüzeyinde bulunan lipitlerden çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFA) oksitlenme reaksiyonuna girerek lipit peroksidasyonu mekanizmasının gerçekleşmesidir. Bunun sonucunda oluşan lipit radikalleri moleküler oksijenle reaksiyon göstererek lipit peroksil radikallerinin oluşmasını sağlar (Xu vd., 2021). Lipid peroksidasyon mekanizmasında aynı zamanda hücre hasarı ve inflamasyonun devam etmesini sağlayacak kadar reaktif olan malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksinonenal (4-HNE) olarak isimlendirilen lipit peroksitlerinin üretimide gerçekleşir (Tsikas, 2017). Üretilen bu lipit peroksitleri epitel hücreleri üzerinde oluşturduğu hasardan dolayı bağırsak bariyeri bozulur ve kontrolsüz geçirgenlik şekillenerek zararlı moleküllerin ve bakterilerin doku hasarını şiddetlendirmesine neden olur (Wan vd., 2019).

Oksidatif stres ile redoks sinyal yollarınında uyarılması kronik nükleer faktör kabba-b (NF-KB)'nin de aktifleşmesini sağlar. NF-KB'nin aracılığı ile proinflamatuvar sitokinlerden IL-6, IL-8, IL-16, ve TNF-a 'nın salınımı gerçekleşerek bağırsak mukozasının hücrelerinin apoptozuna neden olur (Qiu vd.,2011).

Inflamatuvar bağırsak hastalığında oksidatif hasarın belirlenmesi amacıyla yapılan laboratuvar analiz yöntemleri arasında yer alan serum TOK ve TAK ölçümleri hastalığın tanı belirteçleri arasında yer alır ve patogenezi hakkında da bilgi verir. Bu amaçla yapılan klinik çalışmada IBD'nin iki formunda (Chorn's Disease ve Ülseratif kolit) yapılan toplam antioksidan kapasitesi ölçümü sağlıklı grupla karşılaştırılmış ve analiz sonucunda hastaların, TAS ölçümlerinin kontrol (sağlıklı) grubuna göre anlamlı bir azalma olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonucunda azalan antioksidan savunma kapasitesinin hastalığın prognozunu ciddi düzeyde olumsuz etkileyebileceğini düşürmüştür (Koutroubakis vd., 2004). Hastalarda TAK'ın değerlendirmesi aynı zamanda bağırsak mukozasındaki iyileşmenin laboratuvar yöntemiyle belirlenmesini de sağlamıştır (Neubauer vd., 2019). Oksidatif stres indeksi (OSI) olarak değerlendirilen TOK /TAK oranı, IBH'li hastalarda oksidan kapasitesinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (Yuksel vd., 2017).

Paneth hücreleri (PK), bağırsak epitelinin doğuştan gelen bağışıklık yanıtında önemli bir rol oynar ve PK kusurları CH patogenezine katkıda bulunur. (Shi vd., 2023). Shi vd (2023) aktif CH dokularını ve AOPP ile uyarılan C57BL/6 fare modelini kullanarak AOPP'nin CH'deki PK kusurları üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada AOPP'nin aktif CH dokularında biriktiğini ve lizozim ekspresyonu ile negatif, ER stres belirteçlerinin varlığı ile ise pozitif ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Luceri vd. (2019) Ameliyat sırasında, yani ciddi klinik durumlarda CH hastalarının serumundaki AOPP düzeylerini ölçtükleri çalışmada CH hastalarının serumlarında çok yüksek AOPP düzeyleri saptamışlardır. Bu düzeylerin, aktif CH hastalarının plazmasında ortalama 1,87 µmol/g albümin düzeyini ölçen Krzystek-Korpacka ve meslektaşlarının (2008) çalışmasına kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Xu vd (2017) ayrıca, CH hastalarının fibrotik lezyonlarında AOPP birikiminin, oksidatif ve inflamatuar yolak aracılığıyla bağırsak fibrozu gibi CH komplikasyonlarının temel mekanizması olan epitelyal-mezenkimal geçişi teşvik ettiğini bulmuşlardır. Yılmaz vd (2010) antioksidan etkinliği olan N-asetilsisteinin (NAC), ülseratif kolitin neden olduğu protein oksidasyonu üzerine etkisini araştırmayı amaçladıkları çalışmada, kolit grubundaki kolon dokusundaki AOPP düzeylerinin kontrol grubuna göre anlamlı derecede artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yapılan çalışma ayrıca doku

düzeyinde proteinlerin oksidatif stresten etkilenme belirteçlerinden olan AOPP parametresi incelenmiş ilk çalışmadır. Krzystek-Korpacka vd (2008) IBH hastalarındaki AOPP artışının ilişkilendirilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada; IBH, AOPP oluşumunun artmasıyla ilişkilendirilmiş olup; bu durum, CH ve ÜK arasında rAOPP ile hastalık aktivitesi, inflamatuar ve antioksidan yanıt arasındaki ilişki açısından farklılık gösterdiği sonucuna varmışlardır.

9. BAĞIRSAK HASTALIKLARININ TEDAVİSİNDE ANTİOKSİDAN ENZİMLERİN TERAPÖTİK KULLANIMI

İnflamatuvar bağırsak hastalığının seyrinde, inflamasyon hücrelerinin, sitokinlerin, kemokinlerin ve aktive olmuş bağışıklık hücrelerinin reaksiyonları ile oluşan oksidatif stres durumunda antioksidan enzimler tedavide olumlu yanıt almada başarılı olabilir. İBH'li hastaların tedavisinde kullanılan kortikosteroidler ve diğer immun baskılayıcı ajanların kullanımı uzun vadede yan etkilere neden olarak hastalığın patogenezini olumsuz etkilemektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalar ve deneysel modellemelerde sentetik antioksidan enzimler veya doğal yolla hücrelerden antioksidan enzimlerin salınımını arttırarak serbest radikallerin ortamdan uzaklaştırılması hedeflenmiştir. Bu prensiple yapılan bir araştırmada, polifenolik bileşikler, fenolik bileşikler, alkaloidler, fitokimyasallar ve depo polisakkaritler ile resveratrol, kurkumin kuersetin, berberin, demirhindi ksiloglukan, sülforafan, zencefil ve melatonin hormonunu antioksidan özellikleri açısından incelenmiştir (Sahoo vd., 2023).

Oksidatif stres altında olan bağırsak florasındaki dengesizliği düzenlemek ve oksidatif hasarın önüne geçmek için yapılan çalışmalar prebiyotik, probiyotik ve postbiyotiklerin bağırsak mikrobiyotasını düzenlediği, oksidatif strese karşı kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini destekleyerek bağırsak inflamasyonunu önlediği görülmüştür (Gao vd., 2020). Bağırsak mikrobiyotasının düzenlenmesi, patojen mikroorganizmaların neden olduğu inflamasyonun ve inflamasyon kaynaklı hücrelerin çoğalmasının önüne geçerek oksidatif stresi ilk basamaktan önlediği bilinmektedir (Simon vd.,2021).

Doğal antioksidan özellik gösteren fitokimyasallar ailesine ait polifenoller ile yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan kurkumin, kuersetin, resveratrol ve silimarin gibi bileşiklerin reaktif oksijen türlerini inhibe ederek oksidatif stresi önlediği görülmüştür (Candellone vd., 2020; Liu vd., 2021,). Yapılan bazı çalışmalarda antioksidan görevi gören sentetik ajanların IBH'de olumlu sonuç alındığı ve yeni terapötik ajanlar olarak kullanılmasının önünü açtığı belirlenmiştir (Suzuki vd., 2008, Kamio vd., 2014). Inflamatuvar bağırsak hastalığı oluşturulmuş ratlarda n-asetilsisteinin ve mesalamin kombinasyonunun rektal olarak uygulanması ile güçlü oksidan olan iNOS'u azalttığı görülmüş ve histopatolojik olarak olumlu sonuç alındığı belirtilmiştir (Ancha vd., 2009).

Antioksidan enzimlerin artışını sağlayan yollardan biride KEAP1 ve NRF2 yollarıdır. Bu sinyal yolağında KEAP1'in inhibisyonu sağlanarak NRF2 'ye bağlanması engellenir ve bunun sonucunda da antioksidan enzimlerden glutatyon S-transferaz ve NAD(P)H kinon oksidoredüktaz 1'in artışı sağlanarak oksidan ürünler uzaklaştırılır. Bu sinyal yolağındaki inhibisyon aynı zamanda NF-kB 'yide inhibe ederek inflamasyondaki oksidan gücün kırılmasınada olanak sağlar. Bu amaçla doğal KEAP1 inhibitörü olan kumarin ve türevleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Di Stasi, 2023; El-Mahrouk vd., 2025). Glutatyon S-

transferaz enzimini KEAP1 inhibisyonu üzerinden arttırdığı bir diğer ajanda 4-oktil itakonattır (OI). Yapılan deneysel çalışmada OI'ın bağırsak oksidatif stresi azaltması ile birlikte apoptozu azalttığı ve sıkı bağlantı proteinlerinin artışını sağlayarak bağırsak inflamasyonunda yarar sağladığı görülmüştür (Wang vd., 2024).

Chron's hastalığında, yağ asitlerinin (PUFA) hastalığın patogenezi olumsuz etkilediği ve lipid peroksitlerine (LPO) öncülük ettiği bilinmektedir. Hücre duvarının yapısında yer alan PUFA'ların artışına diyetle tüketim aracılık eder. PUFA'lar, fenton reaksiyonu ve diğer serbest radikaller aracılığı ile lipid peroksiyonuna neden olurlar (Conrad ve Pratt, 2019). Lipid peroksitlerin hücrelerin nekrozuna neden olması ise demire bağımlı apoptoz olan ferroptozu gerçekleştirir (Dixon vd., 2012). Glutatyon peroksidaz enziminin 4. izoformu (GPx4), LPO'ları ve ürünler malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksinonenal (4-HNE) radikallerini indirgeyerek hidrolize ederek ferroptozunda önüne geçer. Lipit peroksitlerine neden olan durumlardan biri de bağırsak mikrobiyatasının disbiyozu Escherichia coli (E.coli) bakterisinin artış durumuna geçmesidir (Wen vd., 2023). E.coli, mukus yüzeyinin koruyucu bariyer olmasına engel olarak LPO ve diğer serbest radikallerin üretimini tetikler.(Elatrech vd., 2015, Wang vd., 2014). Mikrobiyota kaynaklı gelişen IBD hastalıklarında probiotik tedavilerinin, antioksidan enzimlerden SOD, miyeloperoksidaz (MPO) ve GPX oranlarını artırarak oksidatif stresin önüne geçer (Liu vd., 2021).

SONUÇ

İnflamatuvar bağırsak hastalığının tedavisinde kullanılan ajanların (antibiyotikler, immunsüpresif ilaçlar, antiinflamatuvar ilaçlar vb.) yan etkilerinin olması, gastrointestinal sistemin ortamından kaynaklı tedavinin uzun ve zorlu olması yeni terapötik ajanlarına araştırılmasına neden olmaktadır. Inflamatuvar bağırsak hastalıklarının tedavisi kadar tanısınında zor olması birçok yönteme ihtiyaç duyulması tanı ve tedavinin maliyetini oldukça arttırmaktadır. Oksidan moleküller ve antioksidan enzimlerin hücrelerdeki reaksiyon güçleri belirlendikçe antioksidan enzimlerin tedavide kullanımı alternatif olarak düşünülmektedir. Bu amaçla yapılan araştırmalar gün geçtikçe yeni yöntemleride beraberinde getiriyor. Teknolojinin gelişmesi ve antioksidan enzimlerin nanopartiküller içinde bozunma olmadan kullanımını sağladığına dair kanıtlarda mevcuttur. İnflamatuvar bağırsak hastalığının, etiyopatogenezi ve tetikleyici etmenlerin belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmaların oksidatif stres belirteçlerini de içermelidir. Bu belirteçlerin inflamasyonun başlaması veya patogenezini olumsuz etkilediği yapılan klinik ve laboratuvar analizleri ile kanıtlanmıştır.

Antioksidan enzimlerin ise biyokimyasal reaksiyonları ve farmokinetik özelliklerinin belirlenmesi ile terapötik kullanımlarına ilişkin çalışılmasının önü açıktır.

KAYNAKÇA

Ahmad, R., Hussain, A., Ahsan, H. Peroxynitrite: cellular pathology and implications in autoimmunity, J Immunoass. Immunochem, 40:123–38, 2019.

Ancha, H. R., Kurella, R. R., McKimmey, C.C., Lightfoot, S., Harty, R. F. Effects of Nacetylcysteine plus mesalamine on prostaglandin synthesis and nitric oxide generation in TNBS-induced colitis in rats, Dig. Dis Sci, 54:758–66, 2009.

Andrabi, S. M., Sharma, N. S., Karan, A., Shahriar, S. M. S., Cordon, B., Ma, B., Xie, J. Nitric Oxide: Physiological Functions, Delivery, and Biomedical Applications, Advanced science, 10(30), e2303259, 2023.

Ayala A, Munoz MF, Argüelles S. Lipid peroxidation: production, metabolism and signaling mechanisms of malondialdehydeand 4-hydroxy-2-nonenal, Oxid Med Cell Longev, 360438, 2014.

Bigagli, E., D'Ambrosio, M., Cinci, L., Fiorindi, C., Agostiniani, S., Bruscoli, E., Nannoni, A., Lodovici, M., Scaringi, S., Giudici, F., Luceri, C. Impact of preoperative immunonutrition on oxidative stress and gut barrier function in surgical patients with Crohn's disease. *Nutrients*. 882, 2023.

Bin, P., Huang, R., Zhou, X. Oxidation resistance of the sulfur amino acids: methionine and cysteine. *BioMed Res Int*. 9584932, 2017.

Binion, D. G., Rafiee, P., Ramanujam, K. S., Fu, S., Fisher, P. J., Rivera, M. T, Johnson, C. P., Otterson, M. F., Telford, G. L., Wilson, K. T. Deficient iNOS in inflammatory bowel disease intestinal microvascular endothelial cells results in increased leukocyte adhesion, Free Radic Biol Med, 29:881–8, 2000.

Blanksby, S.J., Bierbaum, V.M., Ellison, G.B., Kato, S. Superoxide does react with peroxides: direct observation of the Haber- Weiss reaction in the gas phase, Angew Chem Int Ed Engl, 46(26):4948–4950, 2007.

Büyükgüzel, EB., İncivez, Z. Protein oksidasyonunun biyokimyasal ve moleküler mekanizması. *Karaelmas Sci Eng J*. 40-51, 2013.

Candellone, A., Cerquetella, M., Girolami, F., Badino, P., Odore, R. Acute diarrhea in dogs: current management and potential role of dietary polyphenols supplementation, Antioxidants, 9:725, 2020.

Chami, B., Martin, N. J., Dennis, J. M.,Witting, P. K. Myeloperoxidase in the inflamed colon: A novel target for treating inflammatory bowel disease. *Archives of biochemistry and biophysics*, *645*, 61-71, 2018.

Cinelli, M. A., Do, H. T. , Miley, G. P., Silverman, R. B. Inducible nitric oxide synthase: Regulation, structure, and inhibition, Med Res Rev, 40:158–89, 2020.

Colgan, S. P., Taylor, C. T. Hypoxia: an alarm signal during intestinal inflammation. Nat Rev Gastroenterol Hepatol, 7:281, 2010.

Conrad, M., Pratt, D. A., The chemical basis of ferroptosis, Nat Chem Biol, 15(12):1137–1147, 2019.

Costa, E. D., Rezende, B. A. , Cortes, S. F., Lemos, V. S. Neuronal nitric oxide synthase in vascular physiology and diseases. Front Physiol, 7:206, 2016.

Demasi, M., Augusto, O., Bechara, EJH., Bicev, RN., Cerqueira, FM., Cunha, FM., Denicola, A.,ve Thomson, L., Gomes F., Miyamoto S., Luis, Netto, ES.,Lía M., Stevani., V. Oxidative modification of proteins: from damage to catalysis, signaling, and beyond. *Antioxid Redox Signal*. 1016-1080, 2021.

Di Stasi, L.C. Natural coumarin derivatives activating nrf2 signaling pathway as lead compounds for the design and synthesis of intestinal anti-inflammatory drugs, Pharmaceuticals, 16:51, 2023.

Dixon, S. J., Lemberg, K. M., Lamprecht, M. R., Skouta, R., Zaitsev, E. M., Gleason, C. E., Patel, D. N., Bauer, A. J., Cantley, A.M., Yang, W. S, Morrison, B., 3rd, Stockwell, B. R.. Ferroptosis: an iron-dependent form of nonapoptotic cell death, Cell, 149(5):1060–1072, 2012.

El-Mahrouk, S. R., El-Ghiaty, M. A., El-Kadi, A. O. S. The role of nuclear factor erythroid 2-related factor 2 (NRF2) in arsenic toxicity, J Environ Sci, 150:632–44, 2025.

Elatrech, I., Marzaioli, V., Boukemara, H., Bournier, O., Neut, C., Darfeuille-Michaud, A., Luis, J., Dubuquoy, L., El-Benna, J., My-Chan Dang, P., & Marie, J. C. Escherichia coli LF82 differentially regulates ROS production and mucin expression in intestinal epithelial T84 cells: implication of NOX1. Inflammatory bowel diseases, 21(5), 1018–1026, 2015.

Forman, H. J., Zhang, H. Targeting oxidative stress in disease: promise and limitations of antioxidant therapy, Nat Rev Drug Discov, 20(9):689–709, 2021.

Gantner B.N., LaFond K.M., Bonini M.G. Nitric oxide in cellular adaptation and disease. Redox Biol, 34:101550, 2020.

Gao, J., Azad, M. A. K., Han, H., Wan, D., Li, T. Impact of prebiotics on enteric diseases and oxidative stress, Curr Pharm Des, 26:2630–41, 2020.

Glorieux, C., Calderon, P. B., Catalase, a remarkable enzyme: targeting the oldest antioxidant enzyme to find a new cancer treatment approach, Biol Chem, 398(10):1095–1108, 2017.

Gulcin, İ. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview, Arch Toxicol, 94(3):651–715, 2020.

Halliwell, B. Understanding mechanisms of antioxidant action in health and disease, Nat Rev Mol Cell Biol, 25(1):13–33, 2024.

Halliwell, B., Reactive oxygen species (ROS), oxygen radicals and antioxidants: Where are we now, where is the field going and where should we go? , Biochem Biophys Res Commun, 633:17– 19, 2022.

Iborra, M., Moret, I., Rausell, F., Bastida, G., Aguas, M., Cerrillo, E., Nos, P., Beltrán, B.Role of oxidative stress and antioxidant enzymes in Crohn's disease, Biochem Soc Trans, 39:1102–6, 2011.

Ighodaro, O. M., Akinloye, O.A., First line defence antioxidantssuperoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid, Alexandria J Med, 54:287–293, 2018.

Jomova, K, Makova, M, Alomar, S.Y., Alwasel, S.H., Nepovimova, E., Kuca, K., Rhodes, C.J., Valko, M. Essential metals in health and disease, Chem Biol Interact, 367:110173, 2022.

Jomova, K., Raptova, R., Alomar, S.Y., Alwasel, S.H., Nepovimova, E., Kuca, K., Valko, M. Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: chronic diseases and aging, Arch Toxicol, 97(10):2499–2574.

Kamio, K., Azuma, A., Ohta, K., Sugiyama, Y., Nukiwa, T., Kudoh, S, Mizushima, T. Doubleblind controlled trial of lecithinized superoxide dismutase in patients with idiopathic interstitial pneumonia – short term evaluation of safety and tolerability, BMC Pulm. Med ,14:86, 2014.

Kehm, R., Baldensperger, T., Raupbach, J., Höhn, A. Protein oxidation – formation mechanisms, detection and relevance as biomarkers in human diseases. *Redox Biol*. 101901,2021.

Kim, G., Weiss, SJ., Levine, RL. Methionine oxidation and reduction in proteins. *Biochim Biophys Acta Gen Subj*. 901-905,2014.

Koutroubakis, I. E., Malliaraki, N., Dimoulios, P. D., Karmiris, K., Castanas, E., Kouroumalis, E. A. Decreased total and corrected antioxidant capacity in patients with inflammatory bowel disease, Digestive diseases and sciences, 49(9), 1433–1437, 2004.

Krzystek-Korpacka, M., Neubauer, K., Berdowska, I., Boehm, D., Zielinski, B., Petryszyn, P., Terlecki, G., Paradowski, L., Gamian, A. Enhanced formation of advanced oxidation protein products in inflammatory bowel disease. *Inflamm Bowel Dis*. 794-802, 2008.

Laatsch, BF., Ali, BA., Berthiaume, AR., Cunningham, GC., Duncan, SM., Hau, N., Ho, A., Loomis, MA., Lowater, HR., McNally, BL., Mueller,Kate, L., Poppitz, M., . Prickett, Sandra, A., Schroeder, Sydney, E., Shepler,Madison, L., Shoberg,Bryce, H., Shult, Carolyn, G., Smith,Lucille, S., Snyder, Karissa, L., Steczynski, Joshua, E., Torti, A., Voon,A., Weiss, Moriah, M., Wilson, Trinity, B., Bhattacharyya & Sanchita Hati S. A review of methionine and cysteine: their roles as sinks for reactive oxygen and nitrogen species, including bioinformatic analysis of their percent compositions in metabolic proteins. *Indian J Clin Biochem*. 1-12, 2025.

Lewandowska, H. Coordination Chemistry of Nitrosyls and Its Biochemical Implications. In: Mingos, D. (eds) Nitrosyl Complexes in Inorganic Chemistry, Biochemistry and Medicine I, 2013.

Lin, W., Chen, H., Chen, X., Guo, C. The roles of neutrophil-derived myeloperoxidase (MPO) in diseases: the new progress. *Antioxidants*, *13*(1), 132, 2024.

Lismont, C., Revenco, I., Fransen, M. Peroxisomal Hydrogen Peroxide Metabolism and Signaling in Health and Disease, International journal of molecular sciences, *20*(15), 3673, 2019.

Liu, C., Yan, Q., Gao, C., Lin, L., Wei, J. Study on antioxidant effect of recombinant glutathione peroxidase 1. International journal of biological macromolecules, 170, 503–513, 2021.

Marinho, H.S., Cyrne, L., Cadenas, E., Antunes, F. The cellular steady-state of H2O2: latency concepts and gradients, Methods Enzymol, 527:3–19, 2013.

Meyerstein, D. Re-examining fenton and fenton-like reactions, Nat Rev Chem, 5(9):595–597, 2021.

Michel, F., Bonnefont-Rousselot, D., Mas, E., Drai, J., Throng, P. Biomarqueurs de la peroxydation lipidique: aspects analytiques [Biomarkers of lipid peroxidation: analytical aspects]. Ann Biol Clin, 66(6):605–620, 2008.

Muro, P., Zhang, L., Li, S., Zhao, Z., Jin, T., Mao, F., Mao, Z. The emerging role of oxidative stress in inflammatory bowel disease. *Front Endocrinol*. 1390351, 2024.

Naito, Y., Takagi, T., Yoshikawa, T. Molecular fingerprints of neutrophil-dependent oxidative stress in inflammatory bowel disease, J Gastroenterol, 42:787–98, 2007.

Nandi, A., Yan, L. J., Jana, C. K., Das, N. Role of catalase in oxidative stress- and age-associated degenerative diseases, Oxid Med Cell Longev, 9613090, 2019.

Neubauer, K., Kempinski, R., Matusiewicz, M., Bednarz-Misa, I., Krzystek-Korpacka, M. Nonenzymatic Serum Antioxidant Capacity in IBD and Its Association with the Severity of Bowel Inflammation and Corticosteroids Treatment, Medicina (Kaunas, Lithuania), 55(4), 88, 2019.

Ott, M., Gogvadze, V., Orrenius, S., Zhivotovsky, B. Mitochondria, oxidative stress and cell death. *Apoptosis : an international journal on programmed cell death*, *12*(5), 913–922, 2007.

Perrone, S., Laschi, E., Buonocore, G. Biomarkers of oxidative stress in the fetus and in the newborn. *Free Radic Biol Med*. 23-31, 2019.

Qiu, W., Wu, B., Wang, X., Buchanan, M. E., Regueiro, M. D., Hartman, D. J, Schoen, R. E., Yu, J., Zhang, L. PUMA-mediated intestinal epithelial apoptosis contributes to ulcerative colitis in humans and mice. J Clin Invest, 121:1722–32, 2011.

Rezvani, M. Oxidative Stress-Induced Gastrointestinal Diseases: Biology and Nanomedicines—A Review. BioChem, 4(3), 189-216.2024.

Sahoo, D. K., Heilmann, R. M., Paital, B., Patel, A., Yadav, V. K., Wong, D., Jergens, A. E. Oxidative stress, hormones, and effects of natural antioxidants on intestinal inflammation in inflammatory bowel disease, Front Endocrinol (Lausanne), 14:1217165, 2023.

Sartor, R. B., Mechanisms of Disease: pathogenesis of Crohn's disease and ulcerative colitis. Nat Clin Pract Gastroenterol Hepatol, 3(7):390–407, 2006.

Selmeci, L. Advanced oxidation protein products (AOPP): novel uremic toxins or components of the non-enzymatic antioxidant system of the plasma proteome? *Free Radic Res*. 1115-1123, 2011.

Shi, J., Wang, W., Sun, S., Xu, X., Fei, J., Zhou, Q., Caolitao, Qin., Shiyu, Ou., Fengfei, Wu., Fang, ting Wu., Tianyan, Xu., Lan, Bai., Fang, Xie. Advanced oxidation protein products induce Paneth cell defects by endoplasmic reticulum stress in Crohn's disease. *iScience*. 26.8, 2023.

Sies, H. Hydrogen peroxide as a central redox signaling molecule in physiological oxidative stress: Oxidative eustress. Redox Biol, 11:613–619, 2017.

Sies, H., Jones, D.,P. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents, Nat Rev Mol Cell Biol, 21(7):363–383, 2020.

Simon, E, Călinoiu, L. F., Mitrea, L., Vodnar, D. C. Probiotics, prebiotics, and synbiotics: implications and beneficial effects against irritable bowel syndrome, Nutrients, 13:2112, 2021.

Srinivas, US., Tan, BWQ., Vellayappan, BA., Jeyasekharan, AD. ROS and the DNA damage response in cancer. *Redox Biol*. 101084, 2019.

Strober, W., Fuss, I. J. Proinflammatory cytokines in the pathogenesis of inflammatory bowel diseases. Gastroenterology, 140:1756–1767, 2011.

Sultana, R., Butterfield, DA. Protein oxidation in aging and Alzheimer's disease brain. *Antioxidants*. 574, 2024.

Suzuki, Y., Matsumoto, T., Okamoto, S., Hibi, T. A lecithinized superoxide dismutase (PC-SOD) improves ulcerative colitis, Color. Dis, 10:931–4, 2008.

Szczepanowski, P., Noszka, M., Zdotyła-Uklejewicz, D., Pikuła, F., Nowaczyk-Cieszewska M, Krężel A., Kerstin, Stingl., Anna, Zawilak-Pawlik. HP1021 is a redox switch protein identified in *Helicobacter pylori*. *Nucleic Acids Res*. 6863-6879, 2021.

Takada, Y., Mukhopadhyay, A., Kundu, G. C., Mahabeleshwar, G. H., Singh, S., Aggarwal, B. B. Hydrogen peroxide activates NF-kappa B through tyrosine phosphorylation of I kappa B alpha and serine phosphorylation of p65: evidence for the involvement of I kappa B alpha kinase and Syk protein-tyrosine kinase. The Journal of biological chemistry, 278(26), 24233–24241,2003.

Tian, T., Wang, Z., Zhang. J. Pathomechanisms of oxidative stress in inflammatory bowel disease and potential antioxidant therapies, Oxid Med Cell Longev, 2017:4535194, 2017.

Tokoyuni, S. Reactive oxygen species-induced molecular damage and its application in pathology, Pathology International,49: 91–102, 1999.

Tsikas, D. Assessment of lipid peroxidation by measuring malondialdehyde (MDA) and relatives in biological samples: Analytical and biological challenges, Anal Biochem, 524:13–30, 2017.

Valko, M., Izakovic, M., Mazur, M. Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence, Mol Cell Biochem, 266(1–2):37–56, 2004

Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease, Int J Biochem Cell Biol, 39(1):44–84, 2007.

Valko, M., Morris, H., Cronin, M.T. Metals, toxicity and oxidative stress, Curr Med Chem, 12(10):1161–1208, 2005.

Verrastro, I., Pasha, S., Jensen, KT., Pitt, AR., Spickett, CM. Mass spectrometry-based methods for identifying oxidized proteins in disease: advances and challenges. *Biomolecules*. 378-411, 2015.

Wan, J., Ren, H., Wang, J. Iron toxicity, lipid peroxidation and ferroptosis after intracerebral haemorrhage. Stroke Vasc Neurol, 4:93–5, 2019.

Wang A, Keita ÅV, Phan V, McKay CM, Schoultz I, Lee J, Murphy MP, Fernando M, Ronaghan N, Balce D, Yates, R., Dicay, M., Beck, P. L., MacNaughton, W. K., Söderholm, J. D., McKay, D. M. Targeting mitochondria-derived reactive oxygen species to reduce epithelial barrier dysfunction and colitis, The Amer J Pathol, 184(9):2516–2527, 2014.

Wang, Y., Cao, P., Alshwmi, M., Jiang, N., Xiao, Z., Jiang, F., Gu, J., Wang, X., Sun, X., Li, S. GPX2 suppression of H_2O_2 stress regulates cervical cancer metastasis and apoptosis via activation of the β-catenin-WNT pathway. OncoTargets and therapy, 12, 6639–6651, 2019a.

Wang, Y., Zhao, X., Gao, Y., Zhao. C., Li, J., Wang, S., Xue, B., Liu, C., Ma, X. 4-Octyl itaconate alleviates dextran sulfate sodium-induced ulcerative colitis in mice via activating the KEAP1- NRF2 pathway, Inflammopharmacology, 32(4), 2555–2574, 2024.

Wang, Z., Li, S., Cao, Y., Tian, X., Zeng, R., Liao, DF., Cao, D. Oxidative stress and carbonyl lesions in ulcerative colitis and associated colorectal cancer. *Oxid Med Cell Longev*. 9875298,2016.

Wang, Z., Shen, X., Gao, X. Simultaneous enzyme mimicking and chemical reduction mechanisms for nanoceria as a bio-antioxidant:a catalytic model bridging computations and experiments for nanozymes. Nanoscale 11(28):13289–13299, (2019b)

Wang, Z., Shen, X., Gao, X. Simultaneous enzyme mimicking and chemical reduction mechanisms for nanoceria as a bio-antioxidant:a catalytic model bridging computations and experiments for nanozymes. Nanoscale 11(28):13289–13299, (2019b)

Wang. G., Yuan. J., Luo. J., Ocansey. DKW., Zhang. X., Qian. H., Wenrong Xu & Fei, Mao. Emerging role of protein modification in inflammatory bowel disease. *J Zhejiang Univ Sci B*. 173-188, 2022.

Wen, W., Xu, Y., Qian, W., Huang, L., Gong, J., Li, Y., Zhu, W., Guo, Z. PUFAs add fuel to Crohn's disease-associated AIEC-induced enteritis by exacerbating intestinal epithelial lipid peroxidation. Gut Microbes, *15*(2), 2023.

Xu, C., Liu, Z., Xiao, J. Ferroptosis: A double-edged sword in gastrointestinal disease. Int J Mol Sci, 22:12403, 2021. Akagawa, M. Protein carbonylation: molecular mechanisms, biological implications, and analytical approaches. *Free Radic Res*. 307-320, 2021.

Xu, X., Sun, S., Xie, F., Ma, J., Tang, J., He, S., Bai, L. Advanced oxidation protein products induce epithelial-mesenchymal transition of intestinal epithelial cells via a PKCδ-mediated redox-dependent signaling pathway. *Antioxid Redox Signal*. 1699252, 2017.

Yılmaz, A., Eskiocak, S., Altaner, Ş., Turan, N. Asetik asitle kolit geliştirilen sıçanlarda N-asetilsisteinin protein oksidasyonuna etkisi. *J Turk Clin Biochem*. :23-33, 2010.

Yuksel, M., Ates, I., Kaplan, M., Arikan, M.F., Ozin, Y.O., Kilic, Z.M.Y., Topcuoglu, C., Kayacetin, E. Is Oxidative Stress Associated with Activation and Pathogenesis of Inflammatory Bowel Disease?, J. Med. Biochem, 36, 341–348, 2017.

Zhao, L., Zong, W., Zhang, H., Liu, R. Kidney toxicity and response of selenium containing protein-glutathione peroxidase (Gpx3) to CdTe QDs on different levels, Toxicol. Sci, 168 (1), 201–208, 2019.

Zhao, Y., Zhang. L., Ouyang. X., Jiang. Z., Xie. Z., Fan. L., Danhuai, Z., Lanjuan, L. Advanced oxidation protein products play critical roles in liver diseases. *Eur J Clin Invest*. : e13098, 2019.

KANATLI KORONAVİRÜSLERİ
AVIAN CORONAVIRUSES

Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU
Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Viroloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye
ktekelioglu@cu.edu.tr – 0000-0001-6727-3175

ÖZET

Koronavirüsler, taksonomik olarak *Coronaviridae* ailesinde yer alırlar. İnsan ve kuşlar da dahil olmak üzere çok çeşitli primatı enfekte edebilen karmaşık virüsler olarak büyük bir ailenin temsilcileridir. Koronavirüsler, *Coronavirinae* alt ailesinin içinde dört cinse (genus) ayrılırlar. Bunlar, *alphakoronavirüs*, *betakoronavirüs*, *deltakoronavirüs* ve *gammakoronavirüs*'leridir. Tüm kanatlı koronavirüsleri *delta* ve *gammakoronavirüs* cinsi içerisinde yer alırlar. *Gammakoronavirüs* cinsi, enfeksiyöz bronşit virüsü (IBV) ile tavus kuşları ve sülünlerden izole edilen benzer virüsleri, hindi koronavirüsünü ve kaz, ördek ve güvercinlerden IBV benzeri virüsleri içeren kuş koronavirüslerini bünyesinde barındırır. Yabani kuş türleri, ortaya çıkan birçok zoonotik patojenin doğal kaynağı olarak kabul edilirler ve bu nedenle halk sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip oldukları düşünülmektedir. Ayrıca evcil hayvanlar için riskli patojenlerin kaynağıdırlar ve bu tür enfeksiyonların sosyo-ekonomik sonuçları olabileceği genel olarak kabul gören bir yaklaşımdır. Bu nedenle uzun yıllara yayılan çalışmalarda yabani kuşlar epidemiyolojik gözetim altında tutulmaktadır. *Gamakoronavirüsler* kümes hayvanlarından yabani kuşlara ve tersine olarak da yabani kuşlardan kümes hayvanlarına bulaşabilirler. Yabani göçmen kuşlar uzun mesafelere uçabilmeleri nedeniyle koronavirüsleri komşu coğrafyalarda uzak mesafelere ve hatta bir kıtadan diğerine kadar yayabilirler. Yabani kuş koronavirüslerinin ekolojisinin viral türler düzeyinde anlaşılması, gen dizileme araştırmalarının sayısındaki ciddi artışla ve ilgiyle birlikte daha mümkün hale gelmiş olmakla birlikte hem *gama* hem de d*eltakoronavirüslerin* tür tanımları karmaşık genom yapıları ve yüksek mutasyon kabiliyetleri nedenleriyle halen tam olarak anlaşılamamıştır ve devam etmektedir. Buna rağmen, çoğu *gama* ve *deltakoronavirüs* türünün birden fazla konak türünü enfekte edebileceği kabul edilmektedir. Bu derleme kanatlı koronavirüslerine ait bilgileri güncel verilerle yeniden gözden geçirmeyi hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Avian Koronavirüsleri, Enfeksiyöz Bronşit, IBV, Kanatlı Hayvan Koronavirüsleri, Kuş Koronavirüsleri.

ABSTRACT

Coronaviruses are taxonomically classified in the *Coronaviridae* family. They are representatives of a large family of complex viruses that can infect a wide variety of primates, including humans and birds. *Coronaviruses* are divided into four genera within the subfamily *Coronavirinae*: *alphacoronavirus, betacoronavirus, deltacoronavirus,* and *gammacoronavirus*. All avian coronaviruses belong to the genera of *delta* and

gammacoronavirus. The genus *gammacoronavirus* includes avian coronaviruses such as infectious bronchitis virus (IBV) and similar viruses isolated from peacocks, pheasants and, turkey coronavirus, and IBV-like viruses from geese, ducks, and pigeons. Wild bird species are considered a natural source of many emerging zoonotic pathogens and are therefore thought to have a significant impact on public health. They are also a source of pathogens that pose a risk to domestic animals, and it is generally accepted that such infections can have socio-economic consequences. Therefore, wild birds have been kept under epidemiological surveillance in studies spanning many years. *Gammacoronaviruses* can be transmitted from poultry to wild birds and vice versa. Because wild migratory birds can fly long distances, they can spread coronaviruses over long distances in neighbouring geographies and even from one continent to another. While understanding the ecology of wild bird coronaviruses at the viral species level has become more feasible with the significant increase in the number and interest in gene sequencing research, the species definitions of both gamma and delta coronaviruses are still not fully understood and continue to be understood due to their complex genome structures and high mutation capabilities. Nevertheless, it is accepted that most *gamma* and *delta coronavirus* species can infect more than one host species. This review aims to revisit information on avian coronaviruses with current data.

Keywords: Avian Coronaviruses, Infectious Bronchitis, IBV, Bird Coronaviruses.

1. GİRİŞ

İnsanlar ve kuşlar dâhil olmak üzere çok çeşitli hayvan türlerini enfekte edebilen koronavirüsler, Coronaviridae ailesinin en büyük ve en karmaşık virüs gruplarından birini oluşturmaktadır. Koronavirüsler, *Coronavirinae* alt ailesi içinde *Alphacoronavirus, Betacoronavirus, Deltacoronavirus ve Gammacoronavirus* olmak üzere dört farklı cins altında sınıflandırılmaktadır. Günümüze kadar tanımlanan tüm kuş koronavirüslerinin *gammakoronavirüs ve deltakoronavirüs* cinsleri içerisinde yer aldığı bilinmektedir. Avian koronavirüsler; pulmoner, hepatik, enterik, renal ve nörolojik sendromlarla seyreden enfeksiyonlara neden olabilmektedir (Doyle ve Hutchings, 1946). Virüslerin evrimsel gelişim mekanizmaları tam olarak aydınlatılamamış olmakla birlikte, genomik çalışmalar ve özellikle ötücü kuşlarda saptanan yaygın dolaşım, bu virüslerin geniş bir konak yelpazesine uyum sağlayabildiğini göstermektedir (Boley vd., 2020).

Enfeksiyöz bronşit virüsü (IBV) ilk kez 1936 yılında tanımlanmış olup, günümüzde hâlen tavuklarda ekonomik açıdan en önemli viral solunum yolu etkenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Tavuklar ve hindilerde koronavirüs kaynaklı hastalıklara yönelik araştırmalar büyük ölçüde 2010 yılına kadar yoğunlaşmış, bu tarihten sonra moleküler tarama yöntemlerinin ve polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) temelli tanı tekniklerinin yaygınlaşmasıyla birlikte araştırma alanı önemli ölçüde genişlemiştir (Cook vd., 2012). Bu gelişmelerin ardından, dünya genelinde 108 farklı türe ait binlerce yabani kuş bireyi *gama* ve/veya *deltakoronavirüsler* açısından taranmış; koronavirüs pozitif olarak saptanan bireylerin büyük çoğunluğunun herhangi bir klinik hastalık belirtisi göstermediği rapor edilmiştir (Wille ve Holmes, 2020).

2. EPİDEMİYOLOJİ

Gammakoronavirüs cinsi içerisinde yer alan Enfeksiyöz Bronşit Virüsü (Infectious Bronchitis Virus, IBV); tavus kuşu ve sülünlerden izole edilen benzer virüsler, hindi koronavirüsü ile kaz, ördek ve güvercinlerden izole edilen IBV-benzeri virüsleri kapsayan kuş koronavirüsleri ile birlikte sınıflandırılmaktadır (Woo vd., 2012). IBV, dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak bulunmakta olup her yaştaki tavuklarda akut ve yüksek derecede bulaşıcı solunum yolu enfeksiyonlarına neden olabilmekte, aynı zamanda yumurta veriminde ve kalitesinde belirgin düşüşlere yol açmaktadır (Hudson ve Beaudette, 1932). Hastalığın kontrolünde aşılama temel strateji olmakla birlikte, virüsün yüksek antijenik ve genetik değişkenliği, saha suşları ile aşı suşları arasındaki uyumsuzluklara bağlı olarak yetersiz veya kısa süreli koruma ile sonuçlanabilmektedir.

IBV'nin birincil ve doğal konağının tavuklar olduğu kabul edilmekle birlikte, çeşitli çalışmalarda ördek, hindi, güvercin ve kazlarda IBV-benzeri koronavirüslerin varlığı da gösterilmiştir (Dea ve Tijssen, 1989). Tavuk ve hindi dışındaki evcil kümes hayvanlarında yaygın olarak dolaşan bu IBV-benzeri virüslerin sınırlı sayıda genomik dizisinin tanımlanmış olması, söz konusu virüslerin taksonomik konumlarının hâlen netlik kazanmamasına neden olmaktadır. Örneğin, GenBank veritabanında yalnızca tek bir ördeğe ait IBV-benzeri virüsün kısmi veya tam genom dizileri yer almaktadır. Benzer şekilde, yalnızca tek bir ülkede (Norveç) izole edilmiş 39 kaz IBV-benzeri virüsün kısmi genom dizileri GenBank'ta kayıtlıdır (Jonassen vd., 2005).

2.1. Yabani Kuşlar ve Kanatlı Koranavirüsleri

Yabani kuş türleri, ortaya çıkan birçok zoonotik patojen için doğal rezervuar görevi görmekte ve bu özellikleri nedeniyle halk sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra, yabani kuşlar evcil hayvanlar için potansiyel olarak risk oluşturan patojenlerin de kaynağı olabilmekte ve bu enfeksiyonların önemli sosyo-ekonomik sonuçlara yol açabileceği bilinmektedir. Bu nedenlerle, yabani kuş popülasyonları uzun yıllardır epidemiyolojik gözetim kapsamında izlenmektedir (Chan vd., 2015). Son on yıl içerisinde gerçekleştirilen moleküler ve seroepidemiyolojik çalışmalar, yabani kuşlarda koronavirüslerin (CoV) yaygın varlığını ortaya koymuştur (Chan vd., 2013; Hughes vd., 2009; Jordan vd., 2015; Ünal ve Yardımcı, 2021; Poder, 2011).

Kuşları çok sayıda patojen için önemli bir rezervuar ve aynı zamanda viral çeşitliliğin oluşumuna katkı sağlayan bir biyoreaktör hâline getiren başlıca faktörler arasında; kuş türlerinin yüksek biyoçeşitliliği, barınma, beslenme ve göç dönemlerinde yoğun toplanma davranışları ile en önemlisi uzun mesafeli uçuş yetenekleri yer almaktadır (Bhatt vd., 1972).

Dünyanın farklı coğrafi bölgelerindeki vahşi yaşamdan çeşitli deltakoronavirüsler izole edilmiştir. Özellikle Hong Kong Üniversitesi (HKU) tarafından yürütülen çalışmalar kapsamında, yabani kuşlardan şahin koronavirüsü (HKU27), serçe koronavirüsü (HKU19), güvercin koronavirüsü (HKU29), bıldırcın koronavirüsü (HKU30) ve Houbara toy koronavirüsü (HKU28) gibi çok sayıda yeni deltakoronavirüs tanımlanmıştır (Wille vd., 2017). Bu virüslerin büyük bir kısmının doğal konaklarında subklinik enfeksiyonlara neden olduğu, yalnızca bulbul koronavirüsünün solunum yolu hastalığı ile ilişkilendirildiği bildirilmiştir.

Kanatlılarda saptanan IBV-benzeri koronavirüsler; tavus kuşu, martı, sülün, bıldırcın ve keklik koronavirüslerini içermekle birlikte, bu virüslerin kesin konaklarında oluşturdukları klinik tablo belirgin farklılıklar göstermektedir. Örneğin, sülünlerde böbrek tutulumu ve enteritis ile seyreden şiddetli klinik hastalıklar gözlenirken, keklik ve papağan gibi bazı türlerde enfeksiyonların çoğunlukla asemptomatik seyrettiği bildirilmektedir (Cavanagh vd., 2002; Wille vd., 2015). Gammakoronavirüslerin, kümes hayvanlarından yabani kuşlara ve yabani kuşlardan kümes hayvanlarına geçiş yapabildiği; yabani kuşların uzun mesafeli göçleri sayesinde koronavirüslerin kıtalar arası yayılımında önemli rol oynadığı kabul edilmektedir (Tekelioğlu, 2021).

2.2. Kanatlı Koronavirüslerinde Mutasyon ve Rekombinasyonlar

Kanatlı koronavirüslerinde zaman içerisinde meydana gelen mutasyon ve rekombinasyon olayları sonucunda, Enfeksiyöz Bronşit Virüsü'nün (IBV) antijenik açıdan farklı çok sayıda serotipi ve varyantı ortaya çıkmıştır (Cavanagh vd., 2002). IBV ve IBV-benzeri koronavirüsler; tavukların yakınında yetiştirilen ördekler, güvercinler, beç tavukları, sülünler ve kazlar dâhil olmak üzere, insan kontrolü altında doğal ortamları dışında tutulan veya evcilleştirilmiş çeşitli kuş türlerinde saptanmıştır (Lau vd., 2018; Peiris vd., 2005). Örneğin, hindi koronavirüsü (TCoV) ilk kez 1973 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde tanımlanmış ve daha önce 1951 yılında tanımlanan "mavi ibik hastalığı" ile ilişkilendirilmiştir (Joseph ve Fagbami, 2020). Bu mutan virüsün, kaynağı tam olarak belirlenemeyen bir S geninin, IBV'ye ait S geni ile yer değiştirmesi sonucu meydana gelen bir rekombinasyon olayı ile ortaya çıktığı düşünülmektedir (Cavanagh vd., 2002)

Enfeksiyöz bronşit virüsü (IBV) başta olmak üzere kuş koronavirüsleri, yüksek düzeyde genetik değişkenlik sergilemekte olup bu değişkenlik esas olarak mutasyon ve rekombinasyon süreçleri tarafından yönlendirilmektedir. Mutasyonlar, viral RNA'ya bağımlı RNA polimerazın hata yapmaya eğilimli yapısı ve sınırlı düzeltme (proofreading) kapasitesi nedeniyle viral replikasyon sırasında sık nükleotid ikameleri şeklinde ortaya çıkmaktadır (Jackwood, 2012). Bu değişimler, virüsün antijenik yapısını, bulaşabilirliğini ve patojenitesini etkileyerek yeni viral soyların ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır.

Buna karşılık rekombinasyon, iki veya daha fazla farklı viral genomun aynı konak hücreyi eş zamanlı enfekte etmesi sonucunda genetik materyal değiş tokuşuna olanak tanımakta ve benzersiz genomik özelliklere sahip yeni varyantların oluşmasına yol açabilmektedir. Bu süreç, viral uygunluğu artırmanın yanı sıra yeni konaklara veya çevresel koşullara adaptasyonu da kolaylaştırmaktadır (Marandino vd., 2022). Yapılan çalışmalar, rekombinasyonun farklı varyantlara ait genetik özellikleri bir araya getirerek kuş koronavirüslerinin evriminde kilit bir rol oynadığını; bunun bağışıklık yanıtından kaçışı kolaylaştırabileceğini ve konakçı yelpazesini genişletebileceğini göstermektedir (Soares vd., 2025).

Ayrıca, göçmen kuşlar, farklı viral suşların coğrafi bölgeler arasında taşınmasını kolaylaştırarak mutasyon ve rekombinasyon için uygun ekolojik koşulların oluşmasına katkıda bulunmakta ve böylece kanatlı koronavirüslerinin yayılımı ve genetik çeşitliliğinin artmasında önemli rol oynamaktadır (Xu vd., 2025). Sonuç olarak, mutasyon ve rekombinasyon süreçlerinin etkileşimi, kanatlı koronavirüslerinin hızlı evrimini ve karmaşık epidemiyolojik dinamiklerini

desteklemekte; bu durum hastalık kontrolü ve aşı geliştirme stratejeleri açısından önemli zorluklar oluşturmaktadır.

3. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Yabani kuş koronavirüslerinin ekolojisinin viral türler düzeyinde anlaşılması; gen dizileme çalışmalarının sayısındaki belirgin kısıtlılık, ayrıca hem *gammakoronavirüs* hem de *deltakoronavirüs* tür tanımlarına ilişkin devam eden belirsizlikler nedeniyle oldukça karmaşıktır. Bununla birlikte mevcut veriler, *gama* ve *deltakoronavirüslerin* büyük bir bölümünün birden fazla konakçı kuş türünü enfekte edebildiğini ortaya koymaktadır. *Gammakoronavirüslere* ait RNA'ya bağımlı RNA polimerazın (RdRp) kısa bir genomik bölgesinden elde edilen dizilere dayanarak yapılan filogenetik analizler, dizilerin çoğunun Uluslararası Virüs Taksonomisi Komitesi (ICTV) tarafından yakın zamanda onaylanan ördek koronavirüsü 2714 (DCoV 2714; *Gammacoronavirus anatis*) türünü temsil ettiğini göstermektedir. Yapılan çalışmalar, DCoV'nin hem *Charadriiformes* hem de *Anseriformes* takımlarına ait kuş türlerinde yaygın olarak bulunduğunu ortaya koymuştur.

Deltakoronavirüsler ise; kara kuşları, martılar, ötücüler, penguenler ve hatta toy kuşları gibi son derece geniş bir konakçı yelpazesinden izole edilmiştir. Asya, Avrupa, Avustralya, Afrika, Güney Amerika, Kuzey Amerika ve hatta Antarktika'dan bildirilen vakalar, yabani kuş koronavirüslerinin tüm kıtalarda varlığını sürdürdüğünü göstermektedir. Bu bulgular, virüslerin yabani kuş popülasyonlarında oldukça yaygın olduğunu ve uygun şekilde test edildiklerinde yüksek oranda saptanabildiğini düşündürmektedir. Her ne kadar mevcut veriler sınırlı olsa da; coğrafi dağılım, konakçı aralığı ve mevsimsellik örüntülerindeki benzerlikler, özellikle en fazla veri bulunan DCoV için, yabani kuş koronavirüslerinin ekolojisinin influenza A virüsü ile benzerlik gösterebileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, konak ekolojisinin ve bulaş dinamiklerinin tam olarak aydınlatılabilmesi için daha geniş ölçekli, uzun süreli ve standartlaştırılmış epidemiyolojik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Wille ve Holmes, 2020).

Sonuç olarak, kanatlı *deltakoronavirüsleri*, yabani kuş popülasyonlarında giderek daha fazla tanımlanan ve geniş konakçı çeşitliliğine sahip yeni bir koronavirüs grubunu temsil etmektedir. *Coronaviridae* ailesi içinde yer alan *Deltacoronavirus* cinsi üyelerinin evrimsel olarak kuş kökenli olduğu; yabani ve göçmen kuş türlerinin ise virüsün doğal rezervuarları olarak korunması, evrimi ve coğrafi yayılımında kritik rol oynadığı düşünülmektedir. Görünürde sağlıklı yabani kuşlarda, özellikle gastrointestinal sistemden, yeni *deltakoronavirüs* soylarının tespit edilmesi; bu virüslerin doğal konaklarında sınırlı klinik etki gösterdiğini ve fekal–oral bulaş yolunun önemli olduğunu düşündürmektedir.

Bununla birlikte, mutasyon ve rekombinasyon süreçleriyle şekillenen koronavirüslerin yüksek genetik esnekliği, kanatlı *deltakoronavirüsleri* ile domuz *deltakoronavirüsü* arasındaki evrimsel ilişkilerde de görüldüğü üzere, konak değiştirme potansiyeline işaret etmekte ve evcil kümes hayvanlarına veya memelilere sıçrama riski açısından endişe oluşturmaktadır. Bu nedenle, *deltakoronavirüslerin* çeşitliliğini, ekolojisini ve hayvan sağlığı üzerindeki olası etkilerini daha iyi anlayabilmek için yabani kuşların sürekli ve sistematik gözetimi büyük önem taşımaktadır (Woo vd., 2012; Wang vd., 2014; WOAH, 2023).

Sonuç olarak, *gama* ve *deltakoronavirüs* türlerinin çoğunun birden fazla konakçı türünü enfekte edebildiği genel olarak kabul edilmektedir. Bu derleme, kanatlı koronavirüslerine ilişkin mevcut bilgileri güncel veriler ışığında yeniden değerlendirmeyi ve gelecekteki araştırmalar için bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

.

KAYNAKÇA

1. Al-Khalaifah H, et al. The relation between avian coronaviruses and SARS-CoV-2: mutation and recombination aspects. Front Microbiol. 2022. doi:10.3389/fmicb.2022.976462
2. Bhatt PN, Percy DH, Jonas AM. Characterization of the virus of sialodacryoadenitis of rats: a member of the coronavirus group. J Infect Dis. 1972;126(2):123–130.
3. Boley PA, Alhamo MA, Lossie G, et al. Deltacoronavirus infection and transmission in poultry, United States. Emerg Infect Dis. 2020;26(2):255–265.
4. Cavanagh D, Mawditt K, Welchman D, et al. Coronaviruses from pheasants (Phasianus colchicus) are genetically related to coronaviruses of domestic fowl (infectious bronchitis virus) and turkeys. Avian Pathol. 2002;31:81–93.
5. Chan JFW, To KKW, Chen H, Yuen KY. Cross-species transmission and emergence of novel viruses from birds. Curr Opin Virol. 2015;10:63–69.
6. Chan JFW, To KKW, Tse H, Jin DY, Yuen KY. Interspecies transmission and emergence of novel viruses: lessons from bats and birds. Trends Microbiol. 2013;21:544–555.
7. Cook JKA, Jackwood M, Jones RC. The long view: 40 years of infectious bronchitis research. Avian Pathol. 2012;41:239–250.
8. Dea S, Tijssen P. Detection of turkey enteric coronavirus by enzyme-linked immunosorbent assay and differentiation from other coronaviruses. Am J Vet Res. 1989;50:2262–2271.
9. Doyle LP, Hutchings LMA. Transmissible gastroenteritis in pigs. J Am Vet Med Assoc. 1946;108:257.
10. Hudson CB, Beaudette FR. Infection of the cloaca with the virus of infectious bronchitis. Science. 1932;76:34.
11. Hughes LA, Savage C, Naylor C, Bennett M, Chantrey J, Jones R. Genetically diverse coronaviruses in wild bird populations of northern England. Emerg Infect Dis. 2009;15:1091–1094.
12. Jackwood MW. Molecular evolution and emergence of avian coronaviruses. Virus Res. 2012;162(1–2):1–10.
13. Jonassen CM, Kofstad T, Larsen IL, Løvland A, Handeland K, et al. Molecular identification and characterization of novel coronaviruses infecting graylag geese (Anser anser), feral pigeons (Columba livia) and mallards (Anas platyrhynchos). J Gen Virol. 2005;86:1597–1607.
14. Jordan BJ, Hilt DA, Poulson R, Stallknecht DE, Jackwood MW. Identification of avian coronavirus in wild aquatic birds of the Central and Eastern USA. J Wildl Dis. 2015;51:218–221.

15. Joseph AA, Fagbami AH. Coronaviruses: a review of their properties and diversity. Afr J Clin Exp Microbiol. 2020;21(4):258–271.
16. Lau SKP, Wong EYM, Tsang CC, et al. Discovery and sequence analysis of four deltacoronaviruses from birds in the Middle East suggest interspecies jumping and recombination. J Virol. 2018;92(15).
17. Marandino A, et al. Origin of new lineages by recombination and mutation in avian coronaviruses. Viruses. 2022;Article ID 9609748.
18. Peiris JSM, Guan Y, Yuen KY. Severe acute respiratory syndrome. Nat Med. 2005;10:S88–S97.
19. Poder LS. Feline and canine coronaviruses: common genetic and pathobiological features. Adv Virol. 2011;2011:609465. doi:10.1155/2011/609465
20. Soares R, et al. Patterns of recombination in coronaviruses. Int J Mol Sci. 2025;26(12):5595.
21. Tekelioğlu BK. Avian Coronavirüsleri. Ankara: İKSAD Yayınları; 2021.
22. Ünal A, Yardımcı H. Kanatlı koronavirüslerinin zoonotik potansiyelinin değerlendirilmesi. Bull Vet Pharmacol Toxicol Assoc. 2021;12(1):33–42. doi:10.38137/vftd.908417.
23. Wang L, Byrum B, Zhang Y. Detection and genetic characterization of deltacoronavirus in pigs, United States, 2014. Emerg Infect Dis. 2014;20(7):1227–1230.
24. Wille M, Avril A, Tolf C, et al. Temporal dynamics, diversity, and interplay in three components of the virodiversity of a mallard population. Infect Genet Evol. 2015;29:129–137.
25. Wille M, Holmes EC. Wild birds as reservoirs for diverse and abundant gamma- and deltacoronaviruses. FEMS Microbiol Rev. 2020;44(5).
26. Wille M, Lindqvist K, Muradrasoli S, et al. Urbanization and the dynamics of RNA viruses in mallards (Anas platyrhynchos). Infect Genet Evol. 2017;51:89–97.
27. Woo PCY, Lau SKP, Lam CSF, et al. Discovery of seven novel mammalian and avian coronaviruses in the genus Deltacoronavirus. J Virol. 2012;86(8):3995–4008.
28. Woo PCY, Lau SKP, Lam CSF, Lau CCY, Tsang AKL, et al. Discovery of seven novel mammalian and avian coronaviruses in the genus Deltacoronavirus supports bat coronaviruses as the gene source of alphacoronavirus and betacoronavirus and avian coronaviruses as the gene source of gammacoronavirus and deltacoronavirus. J Virol. 2012;86:3995–4008.
29. World Organisation for Animal Health (WOAH). Avian coronaviruses and wildlife reservoirs. Paris: WOAH; 2023.
30. Xu Y, et al. Avian migration-mediated transmission and recombination of coronaviruses. Mol Biol Evol. 2025;42(3):msaf045.

PARVOVİRİDAE
PARVOVIRIDAE

Duygu ARSLANHAN
Çukurova Üniversitesi,
duyguarslanhann@gmail.com.tr – 0009-0005-8547-6917

Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU
Çukurova Üniversitesi,
ktekelioglu@cu.edu.tr – 0000-0001-6727-3175

ÖZET

Parvovirüsler, *Parvoviridae* ailesinde yer alır. Özellikle genç ve duyarlı hayvanlarda ciddi enfeksiyonlara yol açan yüksek bulaşıcılığa sahip genetik olarak birbirine benzeyen virüsleri içerir. Parvovirüs kelimesi Latince "parvo = küçük'' kelimesinden kök alır ve "küçük virüs" anlamındadır. Elektron mikroskobuyla yaklaşık 25 nanometre çapında, yuvarlak ve zarf içermeyen viral partiküller olarak gözlemlenebilirler. Viral genom yaklaşık 5.2 kilobaz uzunluğunda, tek sarmallı ve negatif polaritelidir. İki açık okuma çerçevesi (ORF) içerir: birinci ORF yapısal olmayan proteinler NS1 ve NS2'yi, ikinci ORF ise kapsid proteinleri VP1 ve VP2'yi kodlar. NS1 virüsün çoğalmasını düzenler ve apoptoza etkisi vardır, NS2 ise çekirdekten sitoplazmaya taşınma ve replikasyon kompleksinin düzenlenmesinde görev alır. Kapsid ise üç ana proteinden oluşur. Filogenetik analizler, kedigil, köpekgil, mink ve rat gibi diğer hayvan parvovirüslerinin birbirlerine büyük oranda genetik benzerlik gösterdiklerini ortaya koymuştur. Literatür bilgiye göre parvovirüslerin ortak bir ata parvovirüsten türediğine inanılmaktadır. Örneğin Canine Parvovirüsü (CPV), Feline Parvovirüsü (FPV)'ye genetik olarak çok benzer. VP2 kapsid proteini üzerinde köpeğe adapte olmasını sağlayan kritik değişiklikler sonrası virüsün köpek hücrelerine tutunabilmesi ve girebilmesi mümkün hale gelmiştir. Viral genomlar ve VP2 kapsid proteini mutasyonları, konak spesifikliğini ve antijenik varyasyonları belirler. Her iki virüste fekal oral yol ile alınır, intestinal kriptlerde çoğalır ve lökopeni, ishal, kusma gibi klinik belirtilerle kendini gösterir. Hastalığın şiddeti, immün yanıt, yaş, beslenme ve coğrafi faktörlerle ilişkilidir. Tanı, laboratuvar testleri (ELISA, HI, PCR) ve hematolojik bulgulara dayanır. Epidemiyolojik çalışmalar, FPV ve CPV varyantlarının küresel ve ülkesel dağılımını ortaya koymuştur. Özellikle CPV varyantları olan CPV-2a ve 2c yaygın olarak duyarlı hayvanlar arasında dolaşımdadır. Parvoviral enfeksiyonların prognozu erken tanı, destekleyici tedavi ve hastaların bağışıklık durumuna bağlı olarak değişir. Her iki hastalığa karşı etkili koruyucu aşılar vardır. Bu derlemenin amacı *Parviviridae* ailesine ait bilgileri güncel verilerle yeniden gözden geçirmektir.

Anahtar kelimeler: Canine parvovirüs, Feline parvovirüs, Parvoviridae, Parvovirüsler, Filogenetic, Taksonomi

ABSTRACT

Parvoviruses belong to the *Parvoviridae* family and include genetically similar viruses that are highly infectious and cause serious infections, especially in young and susceptible animals. The word parvovirus originates from the Latin word "parvo" meaning "small," and parvovirus means "small virus". Parvoviruses can be observed by an electron microscope as round, non-enveloped viral particles approximately 25 nanometres in diameter. The virus genome is approximately 5.2 kilobases long, single-stranded, and negative polarized. The genome contains two open reading frames (ORFs): the first ORF encodes the non-structural proteins NS1 and NS2, and the second ORF encodes the capsid proteins VP1 and VP2. NS1 regulates viral replication and has an effect on apoptosis, while NS2 is involved in the regulation of transport from the nucleus to the cytoplasm and the replication complex. The capsid consists of three main proteins. Phylogenetic analyses have revealed that other animal parvoviruses such as feline, canine, mink enteritis, and rat parvoviruses are genetically close related to each other. Based on the literature, it is believed that parvoviruses originated from a common ancestor parvovirus. For example, Canine Parvovirus (CPV) is genetically very similar to Feline Parvovirus (FPV), and critical changes to the VP2 capsid protein have enabled it to adapt to dogs, allowing the virus to attach and penetrate into the canine cells. Viral genomes and VP2 capsid protein mutations determine host specificity and antigenic variations. Both viruses are taken in via the fecal-oral route, replicate in intestinal crypts, and manifest with clinical signs such as leukopenia, diarrhoea, and vomiting. The severity of the disease is related to immune response, age, nutrition, and geographical factors. Diagnosis is based on laboratory tests (ELISA, HI, PCR) and haematological findings. Epidemiological studies have revealed the global and national distribution of FPV and CPV variants. In particular, CPV variants of CPV-2a and 2c are commonly circulated among susceptible animals. The prognosis of parvoviral infections depends on early diagnosis and supportive care. Treatment varies depending majorly on the patient's immune status. There are effective protective vaccines against both diseases. The aim of this review is to revisit information on the *Parviviridae* family with current data.

Keywords: Canine parvovirus, Feline parvovirus, Parvoviridae, Parvovirüses, Phylogeny, Taxonomy

1. GİRİŞ

Parvovirüs kelimesi Latince “parvo = küçük’’ kelimesinden kök alır ve “küçük virüs” anlamındadır. Parvovirüslerin genel morfolojik özellikleri olarak virionlar küçüktür ve 23-28 nm çapındadırlar, zarfsız ve ikosehedral simetrilidirler. Genome 4-6 kb uzunluğunda, lineer tek sarmallı DNA yapısındadır ve kısa uç kısımlarında saç tokası (hairpin) benzeri yapılar bulunur (ICTV, 2025). Parvovirüs çoğalması esas olarak bölünen konakçı hücrelerde gerçekleşir; virüs çekirdeğe girer ve hücre döngüsünün S fazı sırasında konakçının DNA çoğaltma mekanizmasını kullanarak tek sarmallı DNA genomunu çoğaltır (Deng vd., 2016). *Parvovirinae* alt aile si üyeleri omurgalılar, memeliler, kuşlar ve sürüngenleri enfekte ederken, *Densovirinae* alt ailesi üyeleri virüsler ise omurgasızlar, böcekler, kabuklular ve derisi dikenlileri enfekte ederler. Taksonomik olarak *Monodnaviria* alemi, *Shotokuvirae* krallığı,

Cossaviricota şubesi, *Quintoviricetes* sınıfı, *Piccovirales* takımı: 3 alt familya, *Parvovirinae, Hamaparvovirinae* ve *Densovirinae*; 28 cins, 243 türden oluşmaktadır (ICTV, 2025)

2. PARVOVİRİDAE AİLESİ

Parvoviridae ailesi 4-6 kb'lık lineer, tek sarmallı DNA genomlarına sahip, küçük, dayanıklı, zarfsız virüsleri içerir. *Parvovirinae* ve *Densovirinae* olmak üzere iki alt aileye ayrılan virüsler, öncelikle omurgalıları (insanlar dahil) ve omurgasızları enfekte etme yetenekleriyle ayırt edilirler. Genetik olarak sınırlı olduklarından, çoğu parvovirüs aktif olarak bölünen konak hücrelerine ihtiyaç duyar ve konak ve/veya dokuya özgüdür. Bazıları, subklinik belirtilerden ölümcül hastalıklara kadar değişen hastalıklara neden olur. Birkaç tanesi, diğer ailelerden yardımcı virüslerle birlikte enfeksiyon gerektirir (ICTV, 2025).

Parvoviridae ailesi içerinde öne çıkan ve bu aile içerisinde en önemli virüslerden ikisi olan Feline Parvovirüs (FPV) ve Canine Parvovirüs (CPV) *Parvoviridae* ailesinin *Parvovirüs* cinsine dahildirler. Bu cinste ayrıca vizon enterit virüsü (MEV) ve rakun parvovirüsü (RPV) de bulunur. CPV-2 ile genetik veya antijenik olarak bağlantısı olmayan CPV-1 ise Bocavirus cinsine dahildir (Tattersal vd., 2005). Öte yandan, FPV ile CPV, yüksek derecede benzerlik gösterirler ve genetik yapıları yaklaşık %98 oranında örtüşür; iki virüs arasındaki temel fark, VP2 kapsid proteininde görülen 6–7 amino asitlik değişikliklerden kaynaklanır (Ogbu vd., 2017).

2.1. Virion Özellikleri

Parvovirüs kelimesi Latince “parvo”dan gelir ve “küçük” anlamındadır. Elektron mikroskobuyla bakıldığında, enfekte hayvanların dışkı ve dokularında yaklaşık 25 nanometre çapında, yuvarlak ve zarf içermeyen viral partiküller olarak görülebilir (Burtonboy vd., 1979). Virüsün genomu yaklaşık 5.2 kilobaz uzunluğunda, tek sarmallı ve negatif polaritelidir (Muzyczka, 2001).

Parvovirüs virionları bilinen hiçbir temel lipit, karbonhidrat, yardımcı protein veya histon içermezler. Parvoviral virionlar dış ortama son derece dayanıklıdırlar ve genellikle aylarca veya yıllarca bulaşıcı kalabilirler. X-ışını kristalografik ve kriyoelektron mikroskopi görüntü yeniden yapılandırma çalışmaları, T=1 ikosahedral simetriye sahip oldukça karakteristik bir parçacık yapısını ortaya koymaktadır (Agbandje-McKenna ve Kleinschmidt, 2011, Halder vd., 2013).

İki açık okuma çerçevesi (ORF) içerir: birinci ORF yapısal olmayan proteinler NS1 ve NS2’yi, ikinci ORF ise kapsid proteinleri VP1 ve VP2’yi kodlar. NS1 virüsün çoğalmasını düzenler ve enfekte hücreyi programlı şekilde öldürebilir (apoptoz), NS2 ise çekirdekten sitoplazmaya taşınma ve replikasyon kompleksinin düzenlenmesinde görev alır (Decaro ve Buonavoglia, 2012). Kapsid ise üç ana proteinden oluşur. VP1, VP2’nin yapısını taşır ve N-terminalinde fosfolipaz A2 (PLA2) ile nükleer lokalizasyon sinyali (NLS) içerir (Tu vd., 2025). VP2, kapsidin ana yapı taşıdır. VP3 genellikle tam DNA içeren virionlarda VP2’nin posttranslasyonel ayrışmasıyla ortaya çıkar (Nandi ve Kumar, 2010).

DNA’nın her iki ucunda yaklaşık 150 baz çifti uzunluğunda palindromik uç diziler bulunur ve bu diziler replikasyon ile DNA bütünlüğünde rol oynar. Genomda iki ana promotör vardır: P4 NS proteinlerini, P40 ise VP proteinlerini üretir. NS proteinleri alternatif eklemeler ile, VP1 ve

VP2 ise tek mRNA üzerinden farklı konumlardaki başlatma kodonlarıyla sentezlenir. Ayrıca, genomun 5’ ucunda tekrar eden diziler bulunur ve genom düzenlenmesinde görev alır (ICTV, 2025; Wang vd., 2017).

VP2 proteini, 8 antiparalel β-iplikten oluşan klasik β-barrel (jelly roll) motifine sahiptir ve kapsidin dayanıklılığını sağlar. Loop bölgeleri yüzeye çıkarak antijenik bölgeleri ve konak etkileşim noktalarını oluşturur; α-heliksler yapıya ek stabilite sağlar. N-terminal bölge, kapsidin iç kısmına yönelerek DNA veya diğer proteinlerle etkileşimde bulunur, C-terminal bölge ise dışa uzanarak komşu VP2 alt birimlerinin birbirine bağlanmasına aracılık eder (Delano, 2011).

Kapsid toplam 60 yapısal alt birimden oluşur; yaklaşık 5–6 VP1, 54–55 VP2 ve az miktarda VP3 bulunur. Alt birimler ikosahedral simetriye uygun olarak dizilir. Üç katlı eksenlerde üç alt birimin birleştiği noktalarda sivri çıkıntılar, beş katlı eksenlerde kanyon benzeri çöküntüler ve iki katlı eksenlerde daha derin çukurlar oluşur. Bu yapılar kapsidin mekanik dayanıklılığını sağlamak ve konak hücreye bağlanma ile konak bağışıklık sistemi tarafından tanınmasında rol oynamak için önemlidir. 93 ve 323 numaralı kalıntılar, konak seçiciliğini etkileyen kritik amino asitlerdir (Decaro ve Buonavoglia, 2012).

Replikasyon çekirdek içinde gerçekleşir ve özellikle hızlı bölünen hematopoietik veya intestinal hücrelerde yoğun görülür (Decaro ve Buonavoglia, 2012). Virüs önce konak hücreye bağlanır ve transferrin reseptörü aracılığıyla klatrinli endositozla hücre içine alınır. Erken endozomda pH 6.0–6.5 civarındadır; endozom olgunlaştıkça pH düşer ve yaklaşık 5.0’a ulaştığında geç endozoma dönüşür. pH daha da düşerek 4.0 seviyesine geldiğinde yapı lizozoma dönüşür. Bu aşamada VP1’deki PLA2 aktifleşir ve endozomal membranı parçalayarak viral partiküllerin sitoplazmaya geçmesini sağlar. VP1’deki NLS virüsün çekirdeğe yönlenmesini sağlar; mikrotübül ve aktin filamentleri taşıma görevini üstlenir. Nükleer gözenek kompleksi üzerinden viral DNA çekirdeğe girer, replikasyon ve montaj süreçlerinden geçer ve olgun virionları oluşturur. Yeni virionlar, yeniden nükleer porlar aracılığıyla hücre dışına çıkar (ICTV, 2025).

2.2. Orijin

Filogenetik analizler, kedigil, köpekgil, mink ve rat gibi diğer hayvan parvovirüslerinin birbirlerine büyük oranda genetik benzerlik gösterdiklerini ortaya koymuştur. Literatür bilgiye göre parvovirüslerin ortak bir ata parvovirüsten türediğine inanılmaktadır. Örneğin Canine Parvovirüsü (CPV), Feline Parvovirüsü (FPV)’ye genetik olarak çok benzer. VP2 kapsid proteini üzerinde köpeğe adapte olmasını sağlayan kritik değişiklikler sonrası virüsün köpek hücrelerine tutunabilmesi ve girebilmesi mümkün hale gelmiştir (Allison vd., 2013; ICTV, 2025).

CPV, FPV’ye genetik olarak çok benzese de köpeğe adapte olmasını sağlayan kritik değişiklikler VP2 kapsid proteini üzerinde gerçekleşmiştir (Shackelton vd., 2005). Özellikle 93 (Lys→Asn), 103 (Val→Ala) ve 323 (Asp→Asn) mutasyonları, virüsün köpek hücrelerine girebilmesini mümkün kılmıştır. Buna karşılık 80, 564 ve 568. pozisyonlardaki değişiklikler kedilerde replikasyon yeteneğinin kaybıyla ilişkilidir (ICTV, 2025; Shackelton vd., 2005).

İlk tanımlanmasının ardından CPV-2, VP2’deki sınırlı sayıdaki mutasyonla hızla CPV-2a varyantına dönüşmüş ve küresel çapta yayılmıştır. Bu varyantta bazı mutasyonlar görülmüştür.

Bu mutasyonlardan özellikle 300 ve 305. pozisyonlar kedilere yeniden adaptasyonda kritik rol oynarken, diğerleri daha çok antijenik özellikler ve kapsid stabilitesiyle ilişkilidir (ICTV, 2025; Miranda vd., 2016).

Daha sonra VP2'nin 426. pozisyonunda meydana gelen değişiklikler, yeni antijenik varyantların ortaya çıkışını belirlemiştir. Bu bölgede Asn→Asp değişimi CPV-2b'yi, Asp→Glu değişimi ise CPV-2c'yi oluşturmuştur. 426. pozisyon, kapsidin üçlü sivri uç bölgesinde yer aldığı için epitop yapısını değiştirerek bağışıklıktan kaçışta kritik rol oynamaktadır (ICTV, 2025; Miranda vd., 2016). Sonuçta CPV-2'nin, FPV'den türeyerek VP2 mutasyonları ile hem konak spektrumunu genişlettiği hem de CPV-2a, 2b, 2c varyantlarını oluşturduğu düşünülmektedir (ICTV, 2025).

2.3. Bulaşma Yolları ve Patogenez

FPV (Feline Panleukopenia Virus), fekal-oral yolla bulaşır ve öncelikle enfekte vücut sıvıları, dışkı, diğer fomitler ile pire teması yoluyla yayılır. Virüs, çevre koşullarına karşı oldukça dirençlidir ve enfekte organik materyalde en az 1 yıla kadar canlı kalabilir (Poole, 1972). Fomitlerin rolü bulaşta büyük önem taşır; kedi sahipleri, virüsü elleri, ayakkabıları veya kıyafetleri aracılığıyla evlerine taşıyabilirler. Bu durum, dış dünyaya erişimi olmayan tamamen iç mekanda yaşayan kedilerin bile enfekte olmasına yol açabilir (Yanmaz ve Tekelioğlu, 2022; Scott, 1987).

Feline panlökopeni virüsü (FPV), hızla bölünen hücrelere olan sıkı tropizmi nedeniyle sistemik hastalığa neden olan oldukça bulaşıcı bir parvovirüstür. Oronazal veya fekal-oral maruziyetten sonra, FPV başlangıçta orofaringeal lenfoid dokularda çoğalır ve daha sonra viremi yoluyla kemik iliğine, lenfoid organlara ve bağırsak kript epitelyumuna yayılır; burada konak hücreler hücre döngüsünün S fazındadır. Viral çoğalma, hematopoetik progenitör hücrelerin yıkımına yol açarak şiddetli lökopeni ve immünosupresyona neden olurken, bağırsak kript hücrelerinin enfeksiyonu kript nekrozuna, villöz atrofiye ve mukoza bütünlüğünün kaybına neden olarak klinik olarak şiddetli kusma, ishal, dehidratasyon ve ikincil bakteriyel sepsis şeklinde kendini gösterir. Fetüslerde veya yenidoğan yavru kedilerde, FPV enfeksiyonu gelişmekte olan serebellumdaki çoğalan nöroblastları hedef alarak serebellar hipoplaziye, karakteristik ilerleyici olmayan nörolojik bir sekeliye neden olur. Hastalığın şiddeti, anne antikorlarının azalmasıyla birlikte genç yavru kedilerde en yüksektir ve iyileşme, viral replikasyonu sınırlayan ve etkilenen dokuların yenilenmesine olanak sağlayan koruyucu bir humoral bağışıklık tepkisinin hızlı gelişimine bağlıdır (MSD Veterinar Manuel, 2023; Yanmaz ve Tekelioğlu, 2022; Sykes, 2014; Barrs, 2019).

Canine Parvovirüs (CPV), son derece bulaşıcı bir patojendir ve köpek popülasyonları için ciddi bir tehdit oluşturur (Decaro ve Buonavoglia, 2012). Virüs yalnızca köpekleri değil, tilki, kurt, kedi ve kokarca gibi farklı memelileri de enfekte edebilir; ancak insanlara bulaşmaz (Tekelioğlu vd., 2021). En temel bulaşma yolu, enfekte dışkı veya virüsle kirlenmiş yüzeylerle temastır. Toprak, ayakkabı, oyuncak gibi eşyalar; hatta enfekte hayvanların tüyleri, patileri ve barınakları virüsün yayılmasına katkıda bulunur (Tekelioğlu ve Özdemir, 2024). Bu nedenle, köpeklerin toplu halde bulunduğu barınaklar, pet shoplar, pansiyonlar, köpek kulübeleri, parklar ve oyun alanları bulaşmanın en sık görüldüğü yerlerdir (Tekelioğlu vd., 2021, Decaro ve Buonavoglia, 2012).

Yavru köpekler virüsü ağız yoluyla alır; genellikle 3–7 gün süren kuluçka sonrası belirtiler ortaya çıkar (9). Virüs önce orofarenks lenfoid dokularında çoğalır, ardından kan yoluyla hızla bölünen hücreleri hedef alır (Khan ve Line, 2005). Başlıca hedefler kemik iliği, lenf dokuları ve ince bağırsak kriptleridir; dil epiteli, ağız, akciğer, dalak, karaciğer ve böbrek gibi hızlı yenilenen dokular da duyarlıdır (Ford vd., 2017). Nadiren kalp kasını etkileyebilir, ancak günümüzde neredeyse görülmez (Decaro ve Buonavoglia, 2012).

Gastrointestinal sistem virüsün en sık hedefidir. CPV, bağırsak kriptlerinde çoğalır; villus yapısı bozulur ve yüzey epitel fonksiyonunu yitirir. Sonuç olarak besin emilimi azalır, ishal ve sıvı kaybı oluşur, bağırsak bariyeri zayıflar (Park vd., 2019). Virüs bağışıklığı da etkiler; timus korteksinde hasar ve kemik iliğinde lökopeni görülebilir. Ağır olgularda septik şok, sistemik inflamasyon, çoklu organ yetmezliği ve ölüm gelişebilir (Tekelioğlu ve Özdemir, 2024; Decaro ve Buonavoglia, 2012). Bununla birlikte, Hastalığın seyri bireyler arasında değişir. Viremi düzeyi ve süresini kontrol edebilen köpeklerde hastalık hafif seyreder ve iyileşme olasılığı artar. Akut dönemi atlatan köpeklerde enterik formdan toparlanma genellikle hızlıdır; hayati tehlike taşıyanlarda bile bağırsak dokusu onarılabilir ve tam olarak iyileşebilir (Pollock vd., 1993).

3. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Hastalığın şiddeti, immün yanıt, yaş, beslenme ve coğrafi faktörlerle ilişkilidir. Tanı, laboratuvar testleri (ELISA, HI, PCR) ve hematolojik bulgulara dayanır. Epidemiyolojik çalışmalar, FPV ve CPV varyantlarının küresel ve ülkesel dağılımını ortaya koymuştur. Özellikle CPV varyantları olan CPV-2a ve 2c yaygın olarak duyarlı hayvanlar arasında dolaşımdadır. Parvoviral enfeksiyonların prognozu erken tanı, destekleyici tedavi ve hastaların bağışıklık durumuna bağlı olarak değişir. Her iki hastalığa karşı etkili koruyucu aşılar vardır. Bu derlemenin amacı Parviviridae ailesine ait bilgileri güncel verilerle yeniden gözden geçirmektir.

KAYNAKÇA

1. Agbandje-McKenna M, Kleinschmidt J. AAV capsid structure and cell interactions. Methods Mol Biol. 2011;807:47-92. doi: 10.1007/978-1-61779-370-7_3. PMID: 22034026.
2. Allison, A. B., Kohler, D. J., Fox, K. A., Brown, J. D., Gerhold, R. W., Shearn-Bochsler, V. I., Dubovi, E. J., Parrish, C. R. ve Holmes, E. C. (2013). Frequent cross-species transmission of parvoviruses among diverse carnivore hosts, Journal of Virology, 87, 4, 2342-2347, https://doi.org/10.1128/JVI.02428-12 (Erişim tarihi: 16.12.2025).
3. Barrs, V. R. Feline panleukopenia. In: ScienceDirect Topics [online]. Elsevier, 2019 https://www.sciencedirect.com/topics/veterinary-science-and-veterinary-medicine/feline-panleukopenia (Erişim Tarihi: 412.2025].
4. Burtonboy, G., Coignoul, F., Delferriere, N. ve Pastoret, P. P., Canine hemorrhagic enteritis: Detection of viral particles by electron microscopy, Archives of Virology, 61, 1-2, 1-11, 1979.
5. Decaro, N. ve Buonavoglia, C., Canine parvovirus: A review of epidemiological and diagnostic aspects, with emphasis on type 2c, Veterinary Microbiology, 155, 1, 1-12, 2012.
6. DeLano, W. L. (2002). The PyMOL Molecular Graphics System, DeLano Scientific/San Carlos, CA, USA, http://www.pymol.org/ (Erişim tarihi: 16.12.2025).

7. Deng, X., et al. (2016). Replication of an Autonomous Human Parvovirus in Non-Dividing Cells Requires Host DNA Replication Machinery. PLoS Pathogens, 12(9), e1005399.
8. Ford, J., McEndaffer, L., Renshaw, R., Molesan, A. ve Kelly, K., Parvovirus infection is associated with myocarditis and myocardial fibrosis in young dogs, Veterinary Pathology, 54, 6, 964–971, 2017.
9. Halder S, Nam HJ, Govindasamy L, Vogel M, Dinsart C, Salomé N, McKenna R, Agbandje-McKenna M. Structural characterization of H-1 parvovirus: comparison of infectious virions to empty capsids. J Virol. 2013 May;87(9):5128-40. doi: 10.1128/JVI.03416-12. Epub 2013 Feb 28. PMID: 23449783; PMCID: PMC3624314.
10. https://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1005399
11. ICTV. 2025. ICTV Report. Family Parvoviridae. https://ictv.global/report/chapter/parvoviridae/ parvoviridae (Erişim Tarihi: 04.12.2025).
12. Khan, C. M. ve Line, S., The Merck Veterinary Manual, Merck & Co., Inc., Whitehouse Station, NJ, 2991s, 2005.
13. Ogbu, K. I., Anene, B. M., Nweze, N. E., Okoro, J. I., Danladi, M. M. A. ve Ochai, S. O. (2017). Canine parvovirus: A review, Canine Parvovirus: A Review, 74-95, https://www.researchgate.net/publication/318509281 (Erişim tarihi: 16.12.2025).
14. Miranda, C. ve Thompson, G., Canine parvovirus: the worldwide occurrence of antigenic variants, Journal of General Virology, 97, 9, 2043–2057, 2016.
15. MSD Veterinary Manual. Feline panleukopenia. [online]. Merck & Co., Inc., 2023 [accessed 23 Dec 2025]. Available from: https://www.msdvetmanual.com
16. Muzyczka, N.A.K.B. ve Berns, K. I., Parvoviridae: The Viruses and Their Replication, Fundamental Virology, Lippincott Williams & Wilkins / Philadelphia, 2001.
17. Nandi, S. ve Kumar, M., Canine parvovirus: current perspective, Indian Journal of Virology, 21, 31-44, 2010.
18. Palanci, P. ve Tekelioglu, B. K. Biotechnological and virological analysis of canine parvovirus infections by C-reactive protein levels, serological, hematological and molecular techniques. Cellular and molecular biology (Noisy-le-Grand, France), 2023, 69 (13), 279–286. https://doi.org/10.14715/cmb/2023.69.13.41
19. Park, J. S., Guevarra, R. B., Kim, B. R., Lee, J. H., Lee, S. H., Cho, J. H., Kim, H., Cho, J. H., Song, M., Lee, J.-H., Isaacson, R. E., Song, K. H. ve Kim, H. B., Intestinal microbial dysbiosis in Beagles naturally infected with canine parvovirus, Journal of Microbiology and Biotechnology, 29, 9, 1391–1400, 2019.
20. Pollock, R. V. H. ve Coyne, M. J. (1993). Canine parvovirus, Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, 23, 3, 555–568, https://doi.org/10.1016/S0195-5616(93)50305-4 (Erişim tarihi: 17.12.2025).
21. Poole, G.M. Stability of A Modified, Live Panleucopenia Virus Stored in Liquid Phase. Applied Microbiology 1972, 24, 663–664.
22. Scott, F.W. Viral Diseases: Panleukopenia. In: Holzworth, J. (Ed.), Diseases of The Cat: Medicine and Surgery, WB Saunders Co, Philadelphia, USA, 1987, pp. 182–193
23. Shackelton, L. A., Parrish, C. R., Truyen, U. ve Holmes, E. C., High rate of viral evolution associated with the emergence of carnivore parvovirus, Proceedings of the National Academy of Sciences, 102, 2, 379–384, 2005.

24. Sykes, J.E. Feline panleukopenia virus infection. In: SYKES, J. E. (ed.). Canine and Feline Infectious Diseases. 1st ed. St. Louis: Elsevier Saunders, 2014, p. 187–194. ISBN 978-1-4377-0795-3.

25. Tattersall, P., Bergoin, M., Bloom, M. E., Brown, K. E., Linden, R. M., Muzyczka, N. ve Tijssen, P., *Family Parvoviridae, Virus Taxonomy: Eighth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*, Elsevier Academic Press/Amsterdam and Boston, 2005.

26. Tekelioğlu, B.K. ve Palanci, P. Canine Parvovirus Infection; Prevention, Vaccination And Immunization; Key Points To Consider. EJONS 11th International Congress On Mathematic, Engineering And Natural Sciences. January 30-31, 2021. Karak, Jordan, Pp.252-261.

27. Tekelioğlu, B. K., Yüceer, H. B., Akın, B., Koç, Ö., Çelik, M., Kandır, S., Baykal Çelik, L., Gökçe, M. (2021). Osmaniye İlinde Sahipsiz Köpeklerin Rehabilitasyonu ve Viral Enfeksiyon Profilaksisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2021 (RDCONF), 956-), DOI: 10.31590/ejosat.1047514

28. Tekelioğlu., B.K., Özdemir., R. *Canine Parvovirüs (Cpv-2) Enfeksiyonu Köpeklerin Kanlı İshal Hastalığı*. Veteriner Hekimlik, Yaz Yayınları, E_ISBN 978-625-6171-74-9, 2024.

29. Tu, M., Liu, F., Chen, S., Wang, M. ve Cheng, A. (2015). Role of capsid proteins in parvoviruses infection, Virology Journal, 12, 114, https://doi.org/10.1186/s12985-015-0344-y (Erişim tarihi: 16.12.2025).

30. Wang Z, Shen W, Cheng F, Deng X, Engelhardt JF, Yan Z, Qiu J. Parvovirus Expresses a Small Noncoding RNA That Plays an Essential Role in Virus Replication. J Virol. 2017 Mar 29;91(8):e02375-16. doi: 10.1128/JVI.02375-16. PMID: 28122984; PMCID: PMC5375684.

31. Yanmaz, M.R. ve Tekelioğlu, B.K. (). Feline Panlökopeni (FP) Enfeksiyonuna Güncel Yaklaşımlar. (Ed.) Sarman, A. Sağlık Bilimleri Aşanında Uluslararası Araştırmalar XII. Eğitim Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2022, pp, 115-130.

Ratlarda Kimyasal Karsinojenlerle İndüklenen Organ Spesifik Kanser Modelleri

Öğr. Gör. Muhammed Zahid ARI
Kırıkkale Üniversitesi,
Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Veterinerlik Biyokimyası,
Kırıkkale, Türkiye
E-Mail*: muhammedzahidari@kku.edu.tr ORCID ID: 0009-0006-8408-3211

Prof. Dr. Miyase ÇINAR
Kırıkkale Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi,
Biyokimya Anabilim Dalı,
Kırıkkale, Türkiye
E-Mail: miyasecinar@kku.edu.tr -ORCID ID:0000-0003-3806-9938

Dr. Öğr. Üyesi Ali ŞENOL
Kırıkkale Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi,
Biyokimya Anabilim Dalı,
Kırıkkale, Türkiye
E-Mail: alisenol@kku.edu.tr -ORCID ID:0000-0003-4080-7776

ÖZET

Kanser, dünya genelinde yüksek mortalite ve morbidite oranlarıyla önemli bir halk sağlığı sorunu olmaya devam etmektedir. Hastalığın moleküler mekanizmalarının aydınlatılması, erken tanı yaklaşımlarının geliştirilmesi ve yeni tedavi stratejilerinin araştırılabilmesi için güvenilir deneysel kanser modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda in vivo hayvan modelleri arasında ratlar, fizyolojik benzerlikleri, kolay uygulanabilirlikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Ratlarda kanser oluşturma yaklaşımları; kimyasal karsinojenlerle indüksiyon, fiziksel faktörler (iyonizan ve non-iyonizan radyasyon), biyolojik ajanlar, genetik olarak modifiye edilmiş modeller ve transplantasyon temelli yöntemleri kapsamaktadır. Bu yöntemler arasında kimyasal karsinojenlerle indüklenen modeller, tümör gelişiminin çok aşamalı doğasını yansıtabilmeleri ve insan kanserleriyle benzer histopatolojik ve moleküler özellikler sergilemeleri nedeniyle translasyonel kanser araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Kimyasal karsinogenez; başlatma, promosyon ve progresyon evrelerinden oluşan, DNA hasarı, mutasyon birikimi, artmış hücresel proliferasyon

ve apoptozun baskılanması gibi olayları içeren kompleks bir süreçtir. Kimyasal karsinojenler bu mekanizmalar aracılığıyla hedef organlarda organ spesifik tümör gelişimini indüklemektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal karsinojenler genellikle organ-spesifik tümör oluşumuna yol açmaktadır. Bu bağlamda; diethylnitrosamine (DEN), aflatoksin B1 ve thioacetamide karaciğer kanserinin; 1,2-dimethylhydrazine (DMH) ve azoxymethane (AOM) kolon kanserinin; N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine (MNNG) mide kanserinin; N-butyl-N-(4-hydroxybutyl)nitrosamine (BBN) mesane kanserinin; urethane ve 3-methylcholanthrene akciğer kanserinin; 7,12-dimethylbenz[a]anthracene (DMBA) ve N-methyl-N-nitrosourea (MNU) meme kanserinin; N-ethyl-N-nitrosourea (ENU) beyin kanserinin oluşmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kimyasal karsinojenlerle indüklenen rat kanser modellerinin, hedef organ özgüllüğü ve translasyonel değerleri açısından değerlendirilmesi, yaygın kanser türlerinin deneysel incelenmesinde bu modellerin önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kanser, kimyasal karsinogenez, organ-spesifik tümörler, rat

1.GİRİŞ

Kanser; kontrolsüz hücre proliferasyonu, genetik ve epigenetik instabilite, hücre döngüsü düzenleyici mekanizmaların bozulması ve programlı apoptozdan kaçış gibi temel biyolojik süreçlerle karakterize, heterojen ve çok faktörlü bir hastalık grubudur (Hanahan & Weinberg, 2011). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından yayımlanan güncel veriler, kanserin kardiyovasküler hastalıklardan sonra dünya genelinde en sık ikinci ölüm nedeni olduğunu ve her yıl milyonlarca yeni vakanın tanı aldığını göstermektedir (Sung vd., 2021). Küresel kanser yükündeki bu artış, hastalığın moleküler temellerinin ayrıntılı olarak aydınlatılmasını, erken tanı yaklaşımlarının geliştirilmesini ve etkili tedavi stratejilerinin oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır (Ferlay vd., 2021).

Kanser gelişimi, tek bir genetik olaydan ziyade, zaman içerisinde biriken DNA hasarları, epigenetik düzenleme bozuklukları, hücresel sinyal yolaklarının düzensiz aktivasyonu ve tümör mikroçevresi ile olan karmaşık etkileşimlerin sonucu olarak ortaya çıkan çok aşamalı bir süreçtir (Hanahan ve Weinberg, 2011; Vogelstein vd., 2013). Bu dinamik sürecin yalnızca hücre kültürü temelli in vitro sistemlerle modellenmesi mümkün olmadığından, organizma düzeyinde

fizyolojik bütünlüğü koruyan in vivo deneysel modellere duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır (Rangarajan ve Weinberg, 2003; Sharpless ve DePinho, 2006).

Deneysel kanser modelleri, tümör başlatıcı olayların, progresyon basamaklarının ve tedaviye verilen yanıtların bütüncül biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Day vd., 2015). Özellikle hayvan modelleri, dokuya özgü tümör biyolojisinin ve sistemik yanıtların birlikte incelenebilmesi açısından preklinik onkoloji araştırmalarında temel araçlar arasında yer almaktadır (Richmond ve Su, 2008; Mak vd., 2014). Ratlar insanlara benzer fizyolojik ve metabolik özellikleri, daha büyük organ hacimleri ve biyokimyasal ile histopatolojik analizler için yeterli örnek sağlayabilmeleri nedeniyle deneysel kanser araştırmalarında öne çıkmaktadır (Suckow vd., 2005; Gibbs, 2014).

2. İN VİVO KANSER MODELLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

2.1. Kimyasal Karsinojenlerle İndüklenen Modeller

Kimyasal karsinojenlerle indüklenen kanser modelleri, çevresel ve kimyasal maruziyetlerin kanser gelişimindeki rolünü yansıtmaları nedeniyle deneysel onkolojide yaygın olarak kullanılmaktadır (Kemp, 2015). Bu modellerde belirli kimyasal ajanların uygulanmasıyla hedef organlarda tümör gelişimi başlatılmakta ve süreç, başlatma, promosyon ve progresyon evrelerini içeren çok aşamalı bir seyir izlemektedir. Tümör gelişiminin zamana bağlı ilerlemesi ve histopatolojik özellikleri bakımından insanlarda görülen sporadik kanserlere benzerlik göstermeleri, bu modellerin translasyonel değerini artırmaktadır (Pitot, 2007).

2.1.2. Fiziksel Faktörlere Dayalı Modeller

İyonizan ve non-iyonizan radyasyon türleri, karsinogenez sürecinde etkili olan başlıca fiziksel faktörler arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, temel kaynağı güneş olan ultraviyole (UV) radyasyonun yanı sıra görünür ışık ve kızılötesi radyasyon, hücresel ve moleküler düzeyde hasara yol açarak tümör gelişimine katkıda bulunabilmektedir (Baba ve Câtoi, 2007). Bununla birlikte, aşırı sıcaklık koşulları, mekanik travmalar, katı ve jel yapılı yabancı materyaller ile düşük frekanslı elektrik ve manyetik alanlara maruziyetin de karsinojenik potansiyel taşıyan güncel fiziksel etkenler arasında değerlendirildiği bildirilmektedir (DeVita vd., 2015).

2.1.3. Biyolojik Ajanlarla Oluşturulan Modeller

Biyolojik ajanlar ve bazı virüsler, konak hücrelerin hücresel düzenleyici mekanizmalarını etkileyerek onkojenik dönüşüm sürecini başlatabilmektedir. Bu kapsamda kullanılan enfeksiyon temelli deneysel modeller, enfeksiyon ile kanser gelişimi arasındaki ilişkinin

anlaşılmasına katkı sağlamakta ve karsinogenez sürecinde rol oynayan temel hücresel ve moleküler mekanizmaların incelenmesine olanak tanımaktadır (Igea, A. 2024).

2.1.4. Genetik Olarak Modifiye Edilmiş Hayvan Modelleri

Transgenik ve knockout yaklaşımlar aracılığıyla geliştirilen genetik olarak modifiye edilmiş hayvan modelleri, spesifik genlerin kanser gelişimindeki rolünü incelemek için kullanılmaktadır (Murphy ve Ruscetti, 2023). Bu modeller, hedef genlerin fonksiyonel analizine imkân tanımakla birlikte, tümör gelişiminin sıklıkla hızlı ve yapay bir seyir izlemesi nedeniyle doğal karsinogenez sürecini her zaman tam olarak yansıtamamaktadır (Remiszewski, 2025).

2.1.5. Transplantasyon Temelli Modeller

Transplantasyon temelli modellerde tümör hücreleri veya doku parçaları alıcı hayvana nakledilmektedir. 49Xenograft ve allograft yaklaşımlar, tümör büyümesi ve tedaviye yanıtın kısa sürede değerlendirilmesine olanak tanısa da, tümörün doğal başlatılma ve progresyon süreçlerini sınırlı ölçüde yansıtmaktadır (Talmadge vd., 2007).

3. KİMYASAL KARSİNOGENEZ MEKANİZMASI

Kimyasal karsinogenez, normal hücrelerin malign fenotip kazanmasına yol açan, uzun süreli ve çok aşamalı bir biyolojik süreçtir (Minacori vd., 2025). Bu süreçte genetik ve epigenetik değişikliklerin birikimi, hücresel sinyal yolaklarının düzensiz aktivasyonu, hücre döngüsü kontrol mekanizmalarının bozulması ve apoptozun baskılanması temel rol oynamaktadır (Pitot, 2007; Hanahan & Weinberg, 2011). Kimyasal karsinojenler, doğrudan etkileri ya da metabolik aktivasyon sonrasında oluşan reaktif ara ürünler aracılığıyla DNA hasarına neden olmakta ve bu hasarın kalıcı mutasyonlara dönüşmesi karsinogenezin temelini oluşturmaktadır (Hecht, 2003; Oliveira vd., 2007).

Kimyasal karsinogenez süreci klasik olarak başlatma (initiation), promosyon (promotion) ve progresyon (progression) olmak üzere üç temel evrede ele alınmaktadır (Oliveira vd., 2007). Bu evreler biyolojik olarak farklı mekanizmalar içermekle birlikte, zamansal olarak ardışık ve birbirine bağımlı şekilde ilerlemektedir (Oliveira vd., 2007 Deneysel hayvan modellerinde bu evrelerin izlenebilir olması, kimyasal karsinojenlerle indüklenen modellerin translasyonel açıdan önemli avantajlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Sewduth & Georgelou, 2024).

4. RATLARDA KİMYASAL KARSİNOJENLERLE İNDÜKLENEN ORGAN-SPESİFİK KANSER MODELLERİ

Kimyasal karsinojenlerle indüklenen rat modelleri, belirli organlarda öngörülebilir ve tekrarlanabilir tümör gelişimi oluşturmaları nedeniyle farklı kanser türlerinin biyolojik davranışlarının incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Pitot, 2007; Oliveira vd., 2007).

4.1. Karaciğer Kanseri (Hepatoselüler Karsinom) Modelleri

Karaciğer, ksenobiyotiklerin metabolik aktivasyonunda merkezi rol oynaması nedeniyle kimyasal karsinojenlere karşı yüksek duyarlılığa sahip bir organdır (Oliveira vd., 2007). Bu özellik, karaciğeri deneysel karsinogenez çalışmalarında tercih edilen hedef organlardan biri haline getirmektedir (Pitot, 2007). Ratlarda hepatoselüler karsinom (HCC) oluşturmak amacıyla kullanılan kimyasal karsinojenler, genellikle metabolik aktivasyon sonrası DNA hasarı oluşturarak tümör gelişimini başlatmaktadır (Li & Hecht, 2022).

4.1.1. Diethylnitrosamine (DEN)

Diethylnitrosamine (DEN), ratlarda HCC indüksiyonu için yaygın olarak kullanılan güçlü bir nitrozamin türevi karsinojendir (Sotty, 2024). Karaciğerde sitokrom P450 enzimleri aracılığıyla metabolize edilen DEN, reaktif ara ürünler oluşturarak DNA ile etkileşime girmekte ve mutasyonlara yol açmaktadır (Gangawat vd., 2025). DEN uygulamasını takiben karaciğerde preneoplastik lezyonlar, nodüler hiperplazi ve ilerleyen dönemde malign tümör oluşumu gözlenmektedir (Kurma vd., 2021).

DEN modeli, tümör gelişiminin zamana bağlı ve çok aşamalı bir süreç izlemesi sayesinde, karsinogenezin başlatma, promosyon ve progresyon evrelerinin deneysel olarak izlenmesine olanak tanımaktadır (Pitot, 2007). Bu modelde gelişen tümörlerin histopatolojik ve moleküler özellikleri, insan hepatoselüler karsinomu ile önemli ölçüde benzerlik göstermektedir (Kurma vd., 2021).

4.1.2. Aflatoksin B1 (AFB1)

Aflatoksin B1 (AFB1), Aspergillus türleri tarafından üretilen ve güçlü hepatokarsinojenik etkiye sahip bir mikotoksindir (Gemede, 2025). Gıda ve yemlerle kronik maruziyet sonucu karaciğerde birikmesi, AFB1'i hem insanlarda hem de deneysel hayvan modellerinde HCC gelişimi ile güçlü biçimde ilişkilendirmektedir (Choi vd., 2025).

AFB1, karaciğerde sitokrom P450 enzimleri aracılığıyla metabolize edilerek yüksek derecede reaktif AFB1-8,9-epoksit metabolitine dönüşmekte ve bu ara ürün DNA bazları ile kovalent bağlanarak DNA aduktlarının oluşmasına yol açmaktadır (Marchese vd., 2018).

Deneysel rat çalışmalarında AFB1 maruziyetinin yalnızca genotoksik etkiyle sınırlı kalmadığı, aynı zamanda oksidatif stres artışı, lipid peroksidasyonu ve antioksidan savunma sistemlerinin baskılanması ile hepatotoksisiteyi artırdığı gösterilmiştir (Jobe vd., 2023). Liu vd. (2011), AFB1 uygulanan ratlarda artmış reaktif oksijen türleri (ROT) üretiminin ve buna bağlı hücresel hasarın karsinogenez sürecini hızlandırdığını bildirmiştir. Bu yönüyle AFB1 modeli, oksidatif stres temelli kemopreventif yaklaşımların değerlendirilmesine de olanak tanımaktadır (Sivanesan vd., 2007).

4.1.3. Thioacetamide (TAA)

Thioacetamide (TAA), güçlü hepatotoksik ve hepatokarsinojenik özellikleri nedeniyle deneysel hepatokarsinogenez çalışmalarında kullanılan bir ajandır. Ratlarda uzun süreli TAA maruziyeti, akut karaciğer hasarından kronik fibrozis ve siroz gelişimine, nihayetinde hepatoselüler karsinom oluşumuna kadar ilerleyen bir patolojik süreç oluşturmaktadır (Hu vd., 2024). Thioacetamide'nın hepatotoksik etkisi, metabolik aktivasyon sonucu oluşan reaktif ara ürünlerin oksidatif stres artışı ve lipid peroksidasyonu yoluyla hepatosit hasarını tetiklemesine dayanmaktadır (Ezhilarasan, 2023). Bu özellikleriyle TAA modeli, fibrozis–siroz–HCC dizisini bütüncül biçimde yansıtan translasyonel değeri yüksek bir sistem olarak değerlendirilmektedir (Hu vd., 2024).

4.2. Kolon Kanseri Modelleri

Kolon kanseri, deneysel karsinogenez çalışmalarında en sık modellenen gastrointestinal malignitelerden biridir. Ratlarda kimyasal karsinojenlerle indüklenen kolon kanseri modelleri, tümör gelişiminin çok aşamalı doğasını yansıtmaları ve histopatolojik açıdan insan kolorektal kanserine benzerlik göstermeleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Femia ve Caderni, 2008; Nascimento-Gonçalves vd.,2021). Rat kolon kanseri modellerinde yaygın olarak kullanılan kimyasal karsinojenler 1,2-dimetilhidrazin (DMH) ve onun aktif metaboliti olan azoksimetan (AOM)'dır. Bu ajanlar, kolon mukozasında genotoksik etki oluşturarak tümör başlatıcı olayları tetiklemekte ve zamana bağlı progresyonu ortaya koymaktadır (Perše ve Cerar, 2011).

4.2.1. 1,2-Dimetilhidrazin (DMH)

Dimetilhidrazin, karaciğerde metabolize edilerek metilazoksimetanol gibi reaktif ara ürünlere dönüşmekte ve bu metabolitler kolon epiteline taşınarak DNA metilasyonu ve mutasyonlara yol açmaktadır. Bu süreç sonucunda kolon epitelinde preneoplastik lezyonlar ve ilerleyen

aşamalarda adenokarsinom gelişimi gözlenmektedir. (Venkatachalam et al., 2020). Dimetilhidrazin modeli, aberan kript odakları (aberrant crypt foci, ACF) oluşumu ile karakterizedir. ACF'ler, kolon karsinogenezinin erken biyobelirteçleri olarak kabul edilmekte ve kemopreventif stratejilerin değerlendirilmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Rodrigues et al., 2002).

4.2.2. Azoksimetan (AOM)

Azoksimetan (AOM), DMH'nin daha stabil ve doğrudan etkili bir metaboliti olup (Perše ve Cerar, 2011), özellikle orta kolon ve distal kolonda tümör gelişimini indüklemektedir (De Robertis vd., 2011). AOM ile oluşturulan tümörler, histolojik ve moleküler özellikleri bakımından insan kolorektal adenokarsinomlarına yüksek derecede benzerlik göstermektedir (Rosenberg vd., 2009). Azoksimetan modeli; Wnt/β-katenin yolak aktivasyonu, K-ras mutasyonları ve epitelyal proliferasyon artışı gibi insan kolon kanserinde sık gözlenen moleküler değişiklikleri yansıtması nedeniyle translasyonel değeri yüksek bir deneysel sistem olarak kabul edilmektedir (De Robertis et vd., 2011). Uygulama protokollerinin standartlaştırılabilir olması ve yüksek tümör insidansı, AOM modelinin pratik üstünlükleri arasında yer almaktadır (Perše & Cerar, 2011).

4.3. Mide Kanseri Modeli

Nitrosamin karsinojen olan N-metil-N′-nitro-N-nitrozoguanidin (MNNG) son derece güçlü bir karsinojendir. MNNG insanlarda diyet nitrit alımını taklit eder ve mide mukozası karsinogenezini modelleyebilmek için kullanılır. MNNG hücresel bağışıklık, oksidatif stres, inflamatuar yanıt, glikoliz, apoptoz, otofaji ve proliferasyon gibi birçok sinyal yolunu etkileyerek tümör geliştirebilir. MNNG'nin kanserojen özellikleri ilk olarak Sugimura ve Fujimura tarafından içme suyunda MNNG'ye uzun süreli maruz kalma yoluyla sıçanlarda etkili bir şekilde mide tümörü oluşturduğuna dair belgelenmiştir. (Zhang vd., 2025)

4.4. Mesane Kanseri Modelleri

Ratlarda kimyasal karsinojenlerle indüklenen mesane kanseri modelleri, insan ürotelyal karsinomlarının çok aşamalı gelişimini yansıtmaları nedeniyle deneysel onkolojide önemli bir yer tutmaktadır (Parada vd., 2012). Bu alanda en iyi karakterize edilmiş model, N-butyl-N-(4-hydroxybutyl)nitrosamine (BBN) ile indüklenen mesane kanseri modelidir. BBN uygulaması

sonrası ürotelyal hiperplaziden invaziv karsinomlara kadar ilerleyen zamana bağlı bir patolojik süreç gözlenmekte; bu süreç histopatolojik ve moleküler özellikleri bakımından insan mesane kanseri ile yüksek derecede benzerlik göstermektedir (Zupančič & Romih, 2024).

4.5. Akciğer Kanseri Modelleri

Akciğer kanseri, çevresel ve kimyasal karsinojen maruziyetleriyle yakından ilişkili olup, deneysel olarak modellenmesi translasyonel açıdan büyük önem taşımaktadır (Kustiati vd., 2025). Ratlarda akciğer kanseri oluşturmak amacıyla kullanılan kimyasal ajanlar ürethan (ethyl carbamate) (Li vd., 2025) ve 3-methylcholanthrene (3-MC)'dir (Li vd., 2009).

4.6. Meme Kanseri Modelleri

Ratlarda kimyasal karsinojenlerle indüklenen meme kanseri modelleri, insan meme kanserini incelemek için en çok kullanılan yöntemdir. Sıçanlarda meme karsinomlarının tek doz 7,12-dimetilbenzantrasen (DMBA) uygulamasıyla indüklenebileceğini ortaya koyan geliştirilmiş metodoloji, Charles Huggins'in öncü çalışmaları ile literatüre kazandırılmıştır. Tek doz DMBA'nın güçlü tümörijenik etkisi, meme bezinin özellikle duktal epitel kökenli tümör gelişimine yatkın olduğunu göstermiş ve böylece karsinogenezin başlatıcı ve destekleyici evrelerinin ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak sağlamıştır. DMBA ile indüklenen meme karsinomlarının büyük çoğunluğu hormonal değişikliklere duyarlıdır. Bu duyarlılık; hayvanlarda ovariektomi veya hipofizektomi uygulanmasıyla tümör büyümesinin baskılanması ya da progesteron, estradiol veya bu hormonların kombinasyonlarının uygulanmasıyla tümör büyümesinin artması şeklinde kendini göstermektedir. MNU intravenöz uygulanan dişi sıçanlarda meme tümörünü indükleyen bir karsinojen olarak karşımıza çıkar (Nicotra vd., 2024).

4.7. Beyin Tümörü Modelleri

N-ethyl-N-nitrosourea (ENU), ratlarda beyin tümörü gelişimini tetikleyebilen klasik bir kimyasal karsinojendir (Bulnes vd., 2021). ENU transplasental veya erken yaşam döneminde uygulanmakta ve özellikle gliomlar ile periferik sinir kılıfı tümörlerinin (schwannomlar) gelişimine yol açmaktadır. Bu model, MSS tümörlerinin zamana bağlı progresyonunun izlenmesine ve deneysel nöro-onkoloji çalışmalarında erken moleküler değişimlerin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Bulnes-Sesma vd., 2006).

5. SONUÇ

Sonuç olarak, kimyasal karsinojenlerle indüklenen rat kanser modelleri; karsinogenez sürecinin başlatma, promosyon ve progresyon evrelerini zamana bağlı ve bütüncül bir biçimde ortaya koyabilmeleri, organ-spesifik tümör gelişimini kontrollü koşullar altında inceleme olanağı sunmaları ve insan kanserlerinde gözlenen histopatolojik, moleküler ve biyokimyasal değişiklikleri büyük ölçüde yansıtmaları nedeniyle deneysel onkoloji araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu modeller, yalnızca tümör gelişim mekanizmalarının aydınlatılmasına katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda erken dönem preneoplastik lezyonların tanımlanması, karsinogenezle ilişkili biyobelirteçlerin değerlendirilmesi ve yeni tanı, kemopreventif ve tedavi yaklaşımlarının test edilmesi açısından da güçlü bir araştırma altyapısı sunmaktadır. Bu yönleriyle, kimyasal karsinojenle indüklenmiş rat modellerinin translasyonel değeri olan deney modelleri olduğu söylenebilir.

KAYNAKÇA

Baba AI, Câtoi C (2007) Bucharest: The Publishing House of the Romanian Academy, *Comparative Oncology*, 10:973-27-1457-3.

Bulnes, S., Murueta-Goyena, A., & Lafuente, J. V. (2021). Differential exposure to *N-ethyl-N-nitrosourea* during pregnancy is relevant to the induction of glioma and PNSTs in the brain. *Neurotoxicology and Teratology, 87*, 106999. DOI: 10.1016/j.ntt.2021.106998

Bulnes-Sesma, S., Ullibarri-Ortiz de Zárate, N., & Lafuente-Sánchez, J. V. (2006). Tumour induction by ethylnitrosourea in the central nervous system. *Revista de Neurología, 43*(12), 733–738. PMID: 17160924 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17160924/

Choi, D., et al. (2025). *Comprehensive review of dietary probiotics in reducing aflatoxin B1 toxicity and associated health risks*. *Toxins, 17*(10), 482. https://doi.org/10.3390/toxins17100482

Day, C.-P., Merlino, G., & Van Dyke, T. (2015). Preclinical mouse cancer models: a maze of opportunities and challenges. *Cell, 163*(1), 39–53. DOI: 10.1016/j.cell.2015.08.068

De Robertis, M., Massi, E., Poeta, M. L., Carotti, S., Morini, S., Cecchetelli, L., Signori, E., & Fazio, V. M. (2011). The AOM/DSS murine model for the study of colon carcinogenesis: From pathways to diagnosis and therapy studies. *Journal of Carcinogenesis, 10*, 9. PMID: 21483655

DeVita VT, Lawrence TS, Rosenberg SA (2015) DeVita, Hellman, Rosenberg's Cancer: Principles & Practice of Oncology, 11th ed.

Ezhilarasan, D. (2023). *Molecular mechanisms in thioacetamide-induced acute and chronic liver injury models*. Environmental Toxicology and Pharmacology, 99, 104093. https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104093

Femia, A. P., & Caderni, G. (2008). Rodent models of colon carcinogenesis for the study of chemopreventive agents. *Planta Medica, 74*(13), 1602–1607. https://doi.org/10.1055/s-2008-1074577

Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, *et al.* (2021). Cancer statistics for the year 2020: An overview. *International Journal of Cancer*. DOI: 10.1002/ijc.33588 .Festing, M. F. W., & https://www.ovid.com/journals/injc/abstract/10.1002/ijc.33588~cancer-statistics-for-the-year-2020-an-overview?redirectionsource=fulltextview

Gangawat, R., Bagoria, L., Ratanpal, S., & Yadav, R. K. (2025). *Decoding DEN-induced hepatocellular carcinoma: mechanisms and preclinical research perspectives*. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics, 15*(9), 156–167.

Gemede, H. F. (2025). *Toxicity, mitigation, and chemical analysis of aflatoxins and other toxic metabolites produced by Aspergillus: A comprehensive review*. *Toxins, 17*(7), 331. https://doi.org/10.3390/toxins17070331

Gibbs, R. A. (2014). The laboratory rat as a model organism. *Nature, 509*(7500), 331–333. https://doi.org/10.1038/509331a

Hanahan, D., & Weinberg, R. A. (2011). Hallmarks of cancer. *Cell, 144*(5), 646–674. https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013

Hecht, S. S. (2003). Tobacco carcinogens. *Nature Reviews Cancer, 3*(10), 733–744. https://doi.org/10.1038/nrc1190

Hu, Z., Kurihara, T., Sun, Y., Cetin, Z., Florentino, R. M., Faccioli, L. A. P., Liu, Z., Yang, B., Ostrowska, A., Soto-Gutierrez, A., & Delgado, E. R. (2024). *A rat model of cirrhosis with well-differentiated hepatocellular carcinoma induced by thioacetamide*. *Frontiers in Gastroenterology*.

Igea, A. (2024). Editorial: Infectious disease agents and cancer. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 12, 1388423. https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1388423

Jobe, M. C., Mthiyane, D. M. N., Dludla, P. V., Mazibuko-Mbeje, S. E., Onwudiwe, D. C., & Mwanza, M. (2023). *Pathological role of oxidative stress in aflatoxin-induced toxicity in different experimental models and protective effect of phytochemicals: a review*. *Molecules, 28*(14), 5369. https://doi.org/10.3390/molecules28145369

Kalsi, R. S., Sharma, K., Saleh, M., Yoshida, S., & Esni, F. (2022). *Chemical induced pre-clinical models of pancreatic cancer*. *Pancreapedia: Exocrine Pancreas Knowledge Base*. https://doi.org/10.3998/panc.2022.02

Kemp, C. J. (2015). *Animal models of chemical carcinogenesis: Driving breakthroughs in cancer research for 100 years*. Cold Spring Harbor Protocols, 2015(10), 865–874. https://doi.org/10.1101/pdb.top069906

Kurma, K., Manches, O., Chuffart, F., & Sturm, N. (2021). *DEN-Induced Rat Model Reproduces Key Features of Human Hepatocellular Carcinoma*. *Cancers, 13*(19), 4981. https://doi.org/10.3390/cancers13194981 MDPI

Kustiati, U., et al. (2025). *Animal model of lung cancer, molecular carcinogenesis of lung cancer, and antitumor effect of Ocimum sanctum against lung cancer*. *Open Veterinary Journal, 15*(2), 482–503. https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i2.1

Li, L., Chen, C., Yang, R., Wei, Z., Zheng, T., Li, Z., & Wu, H. (2025). *Metabolomic analysis of urethane-induced lung carcinogenesis in rats and the ameliorative effect of Qi-Yu-San-Long decoction*. Analytical Methods, 17, 3058–3069. https://doi.org/10.1039/D4AY02165G

Li, M., Ye, B., Zhang, Y., Chen, H., Xia, D., Liu, M., & Yang, F. (2009). *Proteomic analysis of serum in lung cancer induced by 3-methylcholanthrene*. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 2009, Article 397910. DOI: 10.1155/2009/397910

Li, Y., & Hecht, S. S. (2022). Metabolic activation and DNA interactions of carcinogenic N-nitrosamines to which humans are commonly exposed. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(9), 4559. https://doi.org/10.3390/ijms23094559

Mak, I. W. Y., Evaniew, N., & Ghert, M. (2014). Animal models and clinical translation. *American Journal of Translational Research, 6*(2), 114–118. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3902221/?utm_source=chatgpt.com

Marchese, S., Polo, A., Ariano, A., Velotto, S., Costantini, S., & Severino, L. (2018). *Aflatoxin B1 and M1: Biological properties and their involvement in cancer development*. Toxins, 10(6), 214. https://doi.org/10.3390/toxins10060214

Minacori, M., Fiorini, S., Perugini, M., Iannetta, A., Meschiari, G., Chichiarelli, S., Altieri, F., Natali, P. G., & Eufemi, M. (2025). AhR and STAT3: A dangerous duo in chemical carcinogenesis. *International Journal of Molecular Sciences, 26*(6), 2744. https://doi.org/10.3390/ijms26062744

Murphy, K. C., & Ruscetti, M. (2023). *Advances in making cancer mouse models more accessible and informative through non-germline genetic engineering*. Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine. https://doi.org/10.1101/cshperspect.a041348

Nascimento-Gonçalves, E., Mendes, B. A. L., Silva-Reis, R., Faustino-Rocha, A. I., Gama, A., & Oliveira, P. A. (2021). *Animal models of colorectal cancer: From spontaneous to genetically engineered models and their applications*. Veterinary Sciences, 8(4), 59. https://doi.org/10.3390/vetsci8040059

Nicotra, R., Lutz, C., Messal, H. A., & Jonkers, J. (2024). *Rat models of hormone receptor-positive breast cancer*. Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia, 29, Article 12. https://doi.org/10.1007/s10911-024-09566-0

Oliveira, P. A., Colaço, A., Chaves, R., et al. (2007). Chemical carcinogenesis. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 79*(4), 593–616.

Parada, B., Reis, F., Pinto, Â., Sereno, J., Xavier-Cunha, M., Neto, P., Rocha-Pereira, P., Mota, A., Figueiredo, A., & Teixeira, F. (2012). *Chemopreventive efficacy of atorvastatin against nitrosamine-induced rat bladder cancer: Antioxidant, anti-proliferative and anti-inflammatory properties*. International Journal of Molecular Sciences, 13(7), 8482–8499. https://doi.org/10.3390/ijms13078482

Perše, M., & Cerar, A. (2011). Colon carcinogenesis in rats. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2011, 473964. https://doi.org/10.1155/2011/473964

Pitot, H. C. (2007). Adventures in hepatocarcinogenesis. *Annual Review of Pathology, 2*, 1–29.

Rangarajan, A., & Weinberg, R. A. (2003). Mouse versus human cells. *Nature Reviews Cancer, 3*(12), 952–959. DOI: 10.1038/nrc1235

Remiszewski, P. (2025). *Genetically Modified Mouse Models for Sarcoma Research*. *Current Oncology Reports*, 36(2), 115–126.

Richmond, A., & Su, Y. (2008). Mouse xenograft models vs. GEM models for human cancer therapeutics. Disease Models & Mechanisms, 1(2-3), 78-82. https://doi.org/10.1242/dmm.000976

Rodrigues, M. A. M., Silva, L. A. G., Salvadori, D. M. F., De Camargo, J. L. V., & Montenegro, M. R. (2002). Aberrant crypt foci in the colon of carcinogen-treated rodents are considered to be the earliest hallmark of colon carcinogenesis. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 35*(3), 363–368. https://doi.org/10.1590/S0100-879X2002000300010

Sewduth, R. N., & Georgelou, K. (2024). *Relevance of carcinogen-induced preclinical cancer models*. *Journal of Xenobiotics, 14*(1), 6. https://doi.org/10.3390/jox14010006

Sivanesan, D., & Begum, V. H. (2007). *Modulatory effect of Gynandropsis gynandra L. on glucose metabolizing enzymes in aflatoxin B1-induced hepatocellular carcinoma in rats*. Indian Journal of Biochemistry & Biophysics, 44(6), 477–480.

Sotty, J. (2024). *Diethylnitrosamine-induced hepatocarcinogenesis in rodents*. In Methods in Molecular Biology (Vol. 2721, pp. 1–18). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3716-4_1

Suckow, M. A., Weisbroth, S. H., & Franklin, C. L. (Eds.). (2005). *The laboratory rat* (2nd ed.). Academic Press. (Kitap)

Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., et al. (2021). Global cancer statistics 2020. *CA: A Cancer Journal for Clinicians, 71*(3), 209–249. https://doi.org/10.3322/caac.21660

Talmadge, J. E., Singh, R. K., Fidler, I. J., & Raz, A. (2007). Murine models to evaluate novel and conventional therapeutic strategies for cancer. *American Journal of Pathology*, **170**(3), 793–804. https://doi.org/10.2353/ajpath.2007.060929

Venkatachalam, K., Vinayagam, R., Anand, M. A. V., Mat Isa, N., & Ponnaiyan, R. (2020). *Biochemical and molecular aspects of 1,2-dimethylhydrazine (DMH)-induced colon carcinogenesis: a review.* Toxicology Research, **9**(1), 2–18. https://doi.org/10.1093/toxres/tfaa004

Vogelstein, B., Papadopoulos, N., Velculescu, V. E., et al. (2013). Cancer genome landscapes. *Science, 339*(6127), 1546–1558. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23539594/

Zhang, X., Xu, Y., Cao, J., Li, T., Wang, J., Tao, J., ... & Li, Z. (2025). Mechanisms and applications of N-Methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine in animal tumor models: current situation and challenges. *Frontiers in Oncology*, *15*, 1681270.

Zupančič, D., & Romih, R. (2024). *Urinary bladder cancer induced by N-butyl-N-(4-hydroxybutyl)-nitrosamine*. In Methods in Molecular Biology (Vol. 2773, pp. 25–32). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3714-2_3

İklim Değişikliğinin Gri Papağanda (*Psittacus erithacus*) Bulaşıcı Hastalıklara Etkileri

Mustafa Necati MUZ[1], Ebu Derda Günay[2], Dilek MUZ[1], Emine İrem DEVECİ[2], İpek Nur KARAKUŞ[2].

[1]Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Tekirdağ., [2]İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, İstanbul

ÖZET

Zoonoz hastalık etkeni olan *Chlamydia psittaci* zorunlu hücre içi gram negatif bakteridir. Danimarka'da bildirimi zorunlu bir hastalıktır. Etkenin izole edildiği canlı türüne özgü suş tespiti zordur. Afrika gri pağanı ya da jako olarak ifade edilen türü (*Psittacus erithacus*) olarak bilinir. Bu kuşlar insanların söylediklerini tekrarlayarak onları taklit etme yetenekleri ve etkileyici dış görünümleriyle ticari açıdan gittikçe artan talebe neden olmaktadır. Doğal ortamlarından ayrılarak kuşhanelerde üretilen bireyler vahşi yaşamlarına adapte olan genetik yapıları itibariyle tutsak altında kaldıkça bağışıklık ve endokrin sistemlerinde farklılıklar ortaya çımaktadır. Bahçe ya da balkon gibi yerlerde bulunan kafeslerde yaşayan "tropikal iklime alışkın kuşlar" arasında olan jakolar, kuraklık ve küresel iklim değişikliğine karşı vahşi yaşamdaki türdeşleri kadar hazırlı değildir. Bu kuşların esaret altındayken ne tür hastalıklara duyarlı olduğu hakkında yapılan araştırmada PCR metodu kullanılmıştır. Elli adet farklı yaş ve cinsiyetteki jakodan alınan kan örnekleri incelenmiştir. Buna göre kuşların 17 adetinde PCR pozitifliği tespit edilmiştir. Bazı viral, protozoal etkenler ve iklim değişikliğine ait parametrelerin analiz ve işlenmesi devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler : İklim Değişikliği, Gri Papağan, Hastalıklar, Trakya.

Giriş

Dünya'nın en gelişmiş algılama yeteneği sahip süs kuşları arasında öne çıkan papağanlar farklı özellikleriyle özellikle çocukları cezbetmektedirler. İnsanların kendilerine benzettikleri sınırlı konuşabilme yetenekleri, insan sözlerini taklit etme konusundaki olağanüstü yetenekleri ve bazı davranışları, çekici, göz alıcı renkleri ve kolay bakımları onları tercih ettirmektedir. Bu kuşlar 350 türe yaklaşan pağanlar arasında kafeste 25-50 yıl, serbest olarak ise 60-70 yıl yaşayabilen oldukça kararlı bir türdür. İnsanlar uzun yıllar içinde gri papağanlara son derece güçlü bireysel bağlar geliştirir. Papağan türleri arasında en çok bilinen Jako papağan ya da Afrika gri papağanı (*Psittacus erithacus*), uzmanlar tarafından da en zeki papağan türü olarak ifade edilmektedir. Yaklaşık 1000 kelimeye kadar ezberleyebilirler. Siyah ve gri tonlara sahiptirler. Kuyrukları bordo ya da kırmızı renkte olur. Kırmızı kuyruk renkleri genel manada dikkat çekicidir. Gri

papağanlar (*Psittacus erithacus*) bunlar arasında en öne çıkan tür olarak bilinmektedir. Bu papağanı en çok besleyen ve ticarileştirenler Romalılar olmuştur. Halen uluslararası hayvan ticaretinin önemli bir kısmı bu evcil hayvan pazarı içindir, Damzılıklar daima doğadaki vahşi hatlar ve örneklerden elde edilmektedir. Yuvadaki genç kuşlar ne kadar gençse sahibine alışarak onun sözlerini taklit etme olasılıkları o kadar yüksektir, insan için çok arzu edilen bu özellik nedeniyle yavrular en çok arananlar olanlardır. (Bright-Smith , 1999; Piseddu, 2024; Anderson, 2014).

Afrika gri papağanının yaşam sürdüğü bölge Orta ve Batı Afrika'da yer alan yağmur ormanları olmaktadır. Gri papağanlar, barınabilmek gayesiyle yağmur ormanlarındaki büyük gövdeli ağaçlara ihtiyaç duyar. Tür, Batı Afrika'daki Gine-Bissau'dan başlayarak Batı ve Orta Afrika ormanlarından batı Kenya'ya ve güneyde kuzey Angola ve Demokratik Kongo Cumhuriyeti'ne kadar uzanır. Bu doğal yaşam ve yayılım alanındaki ülkeler arasında örneğin Nijerya, Ekvator Ginesi, Angola, Benin, Kamerun, Orta Afrika Cumhuriyeti, Tanzanya, Togo, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Gana, Gine, Kenya, Liberya, Mali, Ruanda, Uganda bulunur. Jako papağan türü, 2007 senesinde ''Tehdit Altındaki Türler'' listesinde yer almıştır. Evcil hayvan ticareti sebebiyle yabani hayattaki gri papağan çeşitlerinin nüfusunda ciddi bir azalmaya rastlanmıştır. (Aydinonat, 2014; Beekmans, 2023, Bright-Smith, 1999).

Artan küresel kirleticilere bağlı olarak deforme olan ozon tabakasındaki kapasite kaybı iklim değişikliğine bağlı ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Önceden sadece güney kürede, Akdeniz'de yayılım gösteren çoğu eklem bacaklı vektör sinekler ve arthropod türleri son 15 yıldır daha kuzeydeki bölgelerden artan düzeylerde rapor edilmektedir. Bu türler arasında kuşlara hastalık naklinde rol oynayan vektör eklem bacaklılar ve sinekler de yer almaktadır. Bu türlerin Türkiye'deki yaygınlığı birden fazla araştırma ile kanıtlanmış ve izlenemeye devam etmektedir. Türkiye Avrupa, Asya ve Afrika kökenli göçmen kuşların takip ettikleri binlerce yıllık coğrafik rotların kesiştiği biyolojik buluşma noktası olarak her yıl yüz milyonlarca kuşun yolculuğuna şahitlik etmektedir. Bu kuşların dinlenme, beslenme, kışlama ve üreme gibi amaçlarlarla konaklayabildikleri koruma altındaki kuş cennetleri, sazlıklar oldukça rağbet gören barınma alanlarıdır. (Chisu, 2018)

Farklı coğrafyalardan gelen ya da getirilen kuşların taşıdıkları patojenler oldukça fazla olabilmektedir. Sazlık gibi yerlerde geçmişe göre çok daha fazla ve artan düzeyde varlık gösteren vektör eklem bacaklılar göçmen kuşlardaki parazitlere konaklık yapabilmektedirler. Doğal yaşam alanlarındaki kuşlar çevresel kaynakları, iç güdüleri ve savunma mekanizmalarını

kullanarak sokucu sineklerden korunabilir, gerektiğinde ve ihtiyaç hissetiklerinde yer değiştirerek tehlikeden uzaklaşarak kaçabilirler. Oysa esaret altındaki kafes kuşlarının vektör sinekler gibi ara konaklarından kaçma şansları bulunmamaktadır. Vektör türlerin taşıdığı patojenler kafeslerde beslenen kuşlar için oldukça ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. (Aydinonat, 2014; Bright-Smith, 2023)

Kuşlarda *C. psittaci* enfeksiyonu solunum, göz ve bağırsak hastalıklarına yol açabilir. Bu durum kümes hayvanları endüstrisinde ekonomik kayıplara ve tehlike altındaki yerli yaban hayatı için koruma açısından önemli sonuçlara yol açar. Doğal yaşamdan koparılarak esaret altında tutulan çoğu hayvan gibi papağanlar da gerek immünolojik gerekse endokrinolojik sistemleri açısından doğada yaşayan türdeşlerinden farklılıklar gösterirler. Bunlar arasında en dikkat çeken hastalıklara karşı duyarlılıklarındaki değişimdir (Muroni, 2022)

Kuşlarda tespit edilen karakterize edilmiş Chlamydia türleri *C. psittaci , C. avium , C. gallinacea , C. buteonis , C. abortus, C. muridarum, C. pecorum, C. trachomatis ve C. suis*'tir. Çoğu laboratuvar kendi moleküler testlerini geliştirmiş veya yayınlanmış protokolleri uyarlamış, genellikle belirli çalışma amaçlarına uyacak şekilde küçük değişiklikler yapmıştır. Bir moleküler testin hassasiyeti ve özgüllüğü, hedef gene, primer dizilerine, moleküler test türlerine, DNA ekstraksiyon yöntemine ve örnekleme yöntemlerine bağlıdır. Kuşlarda *Chlamydia psittaci'yi* tespit etmek için şu anda en hassas yöntemler moleküler yöntemlerdir. 467 farklı kuş türünde bildirilen C.psittaci en az 17 genotipe sahiptir (Ravichandran, 2022; Heddema, 2015; Elwell, 2016).

2025 yılında Trakya bölgesinde gerçekleştirilen araştırmamızda halk arasında gri papağan / geko (*Psittacus erithacus*) olarak bilinen kuş türündeki bazı paraziter, viral ve bakteriyle hastalıkların PCR cihazı yardımıyla taraması (50 adet) gerçekleştirilmiştir.

Metot

Araştırmada Trakya bölgesinde yetiştiriciliği yapılan 50 adet jako papağını kullanılmıştır. Kan örnekleri EDTA'lı tüplere alınarak kullanılıncaya kadar -86 °Cde muhafaza edilmiştir. Nükleik asit eldesi ruhsatlı ticari firmanın hazır ekstraksiyon kitiyle üretici rehberinin talimatlarına göre gerçekleştirilmiştir (Thermo, Luthania). Üretici firmanın talimatlarına uygun olarak ekstraksiyon kiti kullanılarak DNA ekstrakte edildi. Tanıda hedeflenen 16s rRNA geni için16S-F (5′-GAT GAG GCA TGC AAG TCG AAC G-3′) ve 16S-R (5′-CCA GTG TTG GCG GTC AAT CTC TC-3′) primerleri kullanıldı. Chlamydiales takımını tanımlayan 298 bp'lik ürün

amplifiye edildi. PCR reaksiyon karışımı, 2,5 µL PCR tamponu, her bir primerden 1 µM, 200 µM dNTP, 3500 µM $MgCl_2$, 0,2 µL Taq DNA polimeraz ve 17,3 µL PCR sınıfı ultra saf su oluşmuştur. Reaksiyon karışımına önceden ekstrakte edilmiş 2,5 µL DNA eklenmiştir. DNA amplifikasyonu 95°C'de 12 dakika ve 94°C'de 45 saniye denatürasyon, 51°C'de 45 saniye ve 72°C'de 60 saniye uzama olmak üzere 42 döngü ile devam ettirilmiş, son olarak 72°C'de 5 dakika uzama adımı uygulanmıştır. PCR ürünleri, %0,004 içeren %1,5 agaroz jel elektroforezde yürütülmüş ve ultraviyole transilluminatör altında görüntülenmiştir. Bu çalışmada kullanılan pozitif kontrol DNA şablonu, Afrika gri papağanında (*Psittacus erithacus*) daha önce tespit ettiğimiz örneklere aittir. Dizi analizleri hizmet alımıyla gerçekleştirilmiştir (Nabiltem, Türkiye).

Sonuç

Araştırmada elli adet gri afrika papağanından kan örnekleri alınarak 17 adetinin *Chlamydia psittaci* ile PCR pozitif olduğu tespit edilmiştir. Etken ile enfekte kuşlardaki klinik belirtiler, konakçının yaşına, türüne ve bağışıklık durumuna ve etken suşun patojenitesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Araştırmada muayene edilen kuşlarda klinik olarak konjuktivit, enterit, hepatosplenomegali veya öksürük gibi semptomlara rastlanmamıştır. Ancak kuşların 17 kuşun 3 adetinde hava kesesi semptomları tespit edilmiştir. Bazı viral ve protozoal etkenlerin analizlerive iklim değişikliğine yönelik parametrelerin işlenmesine devam edilmektedir.

Tartışma

Chlamydia psittaci, insanlarda psittakoz veya ornitoz, kuşlarda ise kuş klamidyozu olarak adlandırılan hastalıklara neden olan zoonotik bir bakteridir. Enfekte olan papağan türü kuşlarda sıklıkla konjuktivit, hava kesesi iltihabı, pnömoni, enterit ve hepatosplenomegali görülür.

İklim değişikliğinin bir sonucu olarak kuşlar, insanlara ve evcil hayvanlara bulaşıcı olan patojenlerin yayılmasıyla da ilişkilendirilmiştir. Geçtiğimiz yüzyılda, ortaya çıkan bulaşıcı hastalıkların sayısında önemli artışlar olmuştur; yaklaşık %75'i zoonozdur, yani hayvanlardan kaynaklanırlar ancak onlara neden olan parazitler insanlara bulaşabilir. Yabani ve evcil kuşlar, ekonomik ve halk sağlığı açısından önemli olan bu zoonotik patojenlerin birçoğunun doğal rezervuarıdır.

Geleneksel tanı seroloji ve kültür yöntemlerini içerir ancak PCR artık genel olarak kabul görmektedir. Bununla birlikte, klinik uygulama için iyi kurulmuş ticari testler neredeyse yok denecek kadar azdır ve şimdiye kadar yayınlanan kurum içi testler tür özgüllüğü veya duyarlılık

açısından eksiklikler göstermektedir. *Chlamydia psittaci*, ana dış zar proteinini kodlayan omp A genine dayalı olarak 9 kabul edilmiş ve sekiz geçici genotipe sahip genetik olarak heterojen bir türdür. PCR protokollerinin çoğu, *C. psittaci* suşları arasında oldukça yaygın olan ve bu nedenle daha az uygun hedefi yani omp A'yı kullanmaktadı. Bunun dışında *C. abortus* ile olan yakın filogenetik ilişki, 16S/23S rRNA düzeyinde her iki türde de korunmuş ve *C. psittaci*'nin spesifik olarak tespitini zorlaştırmaktadır.

Gri papağanda bağışıklık savunması yerel, çevresel koşullar ve eklem bacaklı parazit maruziyeti tarafından etkilenir. İklim kaynaklı bu koşullardaki değişimler, enfeksiyona yatkınlığı ve hastalık kaynaklı ölümü etkileyen konak içi süreçleri değiştirerek enfeksiyon dinamiklerini ve sonuçlarını değiştirebilir. Isı stresine çok duyarlı olan kuşlarda beklenmeyen tüy dökme süreçleri de enfeksiyonların görülme sıklığını etkileyebilir. Düzenli olarak gerçekleşen sağlıklı üreme kuşların bireysel ve popülasyon düzeyinde gen akışını sağlarken bunun durması gelecek nesillere aktarılması beklenen kalıtsal özellikler ve özellikle sürdürülebilir bağışıklık için risk teşkil etmektedir. Kuşların ticari amaçlarla farklı ekolojik bölgelere kaçırılması, kafeste yaşamaya zorlanması da beklenmedik hastalıklara neden olabilmektedir

Enfekte hayvanların hem çalışanlarla hem de ziyaretçilerle yakın teması göz önüne alındığında, bu bulgular endişe vericidir. Burun ve göz akıntısı veya dışkı yoluyla çevreye büyük miktarlarda bakteri yayabilirler. *C. psittaci* enfeksiyonları, salgın ve zoonotik potansiyeli göz önüne alındığında, bakterinin yayılmasını sınırlamak için insanları etkili bir şekilde tedavi etmek ve enfekte hayvanları yönetmek amacıyla hızlı ve doğru bir teşhis gerektirir. Etkilenen kuşhaneler önemli bir halk sağlığı riski oluşturduğu için enfeksiyonu izleme, tespit etme ve kontrol etme stratejisi uygulamalıdır. Öte yandan, kurtarma merkezlerindeki esaret altındaki kuşların rehabilite edilmesi özellikle önemlidir, çünkü enfeksiyon tehlike altındaki vahşi popülasyonlara yeniden bulaşarak koruma ve çevre açısından tehlike oluşturabilir.

Sonuçlar önceden bildirimi yapılmayan bazı patojenlerin görülmesine dair risklerin arttığını, yaban hayatı ile şehir hayatı arasında gerçekleşecek vektör eklem bacaklıların yayılımlarının izlenmesi ve kontrol altına alınması gerektiğini göstermektedir.

Kaynaklar

Piseddu A, van Zeeland YR, Rault JL. 2(024) What we (don't) know about parrot welfare: Finding welfare indicators through a systematic literature review. Anim Welf. 5;33:e57.

Anderson PK (2014). Social dimensions of the human–avian bond: Parrots and their persons. Anthrozoös 27: 371–387.

Aydinonat D, Penn DJ, Smith S, Moodley Y, Hoelzl F, Knauer F and Schwarzenberger F (2014). Social isolation shortens telomeres in African Grey parrots (Psittacus erithacus erithacus). PLoS One 9: e93839. 10.1371/journal.pone.0093839

Beekmans MHC, Vinke CM, Maijer A, de Haan I, Schoemaker NJ, Rodenburg TB, Kooistra HS, and van Zeeland YRA (2023). Increasing foraging times with appetitive and consummatory foraging enrichment in grey parrots (Psittacus erithacus). Applied Animal Behaviour Science 265: 105986. 10.1016/j.applanim.2023.105986

Bright-Smith DJ 1999. Parrots: A guide to parrots of the world. The Auk 116: 868–870. 10 Jayson SL, Williams DL and Wood JLN 2014. Prevalence and risk factors of feather plucking in African grey parrots (Psittacus erithacus erithacus and Psittacus erithacus timneh) and cockatoos (Cacatua spp). Journal of Exotic Pet Medicine 23: 250–257..2307/4089356.

Chisu, V., Foxi, C., Tanda, A. (2018). Molecular evidence of Chlamydiales in ticks from wild and domestic hosts in Sardinia, Italy. Parasitol Res 117, 981–987

Elwell, C.; Mirrashidi, K.; Engel, J. (2016) Chlamydia Cell Biology and Pathogenesis. Nat. Rev. Microbiol., 14, 385–400.

Muroni, G., Pinna, L., Serra, E., Chisu, V., Mandas, D., Coccollone, A., Liciardi, M., & Masala, G. (2022). A Chlamydia psittaci Outbreak in Psittacine Birds in Sardinia, Italy. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(21), 14204.

Ravichandran, K.; Anbazhagan, S.; Karthik, K.; Angappan, M.; Dhayananth, B.A. Comprehensive Review on Avian Chlamydiosis: A Neglected Zoonotic Disease. Trop. Anim. Health Prod. 2021, 53, 414.

Heddema, E.R.; van Hannen, E.J.; Bongaerts, M.; Dijkstra, F.; Ten Hove, R.J.; de Wever, B.; Vanrompay, D. (2015) Typing of Chlamydia Psittaci to Monitor Epidemiology of Psittacosis and Aid Disease Control in the Netherlands, 2008 to 2013. Eurosurveillance., 20, 21026.

MEDIBEES AB Projesi: İklim Değişikliği ve Akdeniz Arıcılığının Geleceği

Mustafa Necati Muz[1], Raquel Martín-Hernández[2], Antonio Nanetti[3], Alice Pinto[4], Marion Zammit Mangion[5], Chadi Hosri[6], Noureddine Adjlane[7], Banan Al Shagoor[8], Dilek Muz[1],

[1]Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Tekirdağ. , [2]Centro de Investigación Apícola y Agroambiental de Marchamalo, Spain, [3]CREA-AA - Research Centre for Agriculture and Environment, Bologna, Italy. [4]Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Portugal. [5]University of Malta, Msida, 2080 MSD, Malta, [6]Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine, Lebanese University, Dekwaneh, Lebanon
[7]Faculty of Sciences, M'hamed Bougara University, Boumerdes, Algeria, [8]National Agricultural Research Center/*NARC/Jordan*

Özet: Bal arıları (*Apis mellifera*), doğal ve ticari tozlaşma için küresel ölçekte hayati öneme sahiptir; tarımsal verimi önemli ölçüde artırır, biyoçeşitliliği destekler ve sürdürülebilir ekosistemleri korur. Propolis, arı sütü ve polen gibi apiterapi ürünleri de "Tek Sağlık" önemini vurgulamaktadır. En ekonomik değere sahip kültür böceği olan bal arıları, çeşitli ortamlarda yuva yapar. Bölgesel çiçekli bitkilerle olan ortak evrimleri, belirli coğrafi alanlara özgü birçok alt tür ve ekotipin ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Ancak, artan çevre kirliliği ve iklim değişikliği, türler için ciddi bir tehdit oluşturmakta, hazırlıksız arıcılık sektörünü kritik bir şekilde etkilemekte ve önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Portekiz, İspanya, İtalya, Malta, Türkiye, Ürdün, Cezayir ve Lübnan dahil olmak üzere Akdeniz havzası ülkeleri beklenmedik kayıplar yaşarken, Yunanistan, Mısır, İran ve BAE'de de benzer sorunlar bildirilmiştir. Bu yaygın kriz, bu zorlukları analiz etmek ve çözmek için işbirlikçi bilimsel projeleri gerektirmektedir.

MEDIBEES AB projesi, bal arılarının bağışıklık ve endokrin sistemlerinin çevresel strese nasıl tepki verdiğini gen ekspresyon analizi yoluyla araştıran bu tür önemli araştırmalara örnek teşkil etmektedir. Birincil amaç, arıcıların karşılaştığı zorlukları en aza indirerek küresel rekabet güçlerinin devamlılığını sağlamaktır. Genetik analiz, en uygun arı ürünü üretiminin (örneğin bal, balmumu) iklim değişikliğine en iyi uyum sağlayan ekotiplerden geldiğini göstermektedir. Bu nedenle, arıcıların yerel olarak uyum sağlayan ekotipleri yetiştirmeleri ve kullanmaları teşvik edilmelidir.

Giriş

Bal arıları, ekolojik ve ekonomik açıdan yetiştiriciliği yapılan en değerli evcil sosyal böcek türüdür. Yaklaşık 30 yıldır arılarla birlikte etkileşime giren biyotik ve abiyotik stres faktörleri nedeniyle ciddi koloni kayıpları ile verim sorunları yaşanmıştır. Başta iklim değişikliği olmak üzere istilacı yeni ve yabancı yırtıcılar, değişen gentoipleri ve suşlarıyla evrimleşen parazitler ve patojenler, zirai zehirler, yetiştiricilik hataları farklı sorunları oluşturan ana tablo içerisinde yer almaktadır (Abou-Shaara, 2024, Degrandi-Hoffman, 2024).

İklim değişikliği sorunlarının arılar için öncelikli etkilerinden biri, kolonilerin yaşam şartları ve hayvan refahında soruna yol açacak düzeyde beklenmedik, ani ve aşırı meteorolojik

olaylarının (örneğin, anormal yağış rejimi, kurak ve sıcak hava dalgaları) sıklığının artmasıdır. Bu olaylar doğal çiçeklenme sürecini de bozarak nektar kaynaklarının bulunabilirliğini güçleştirir, nektar ve polen dengesini etkiler, balın miktarını ve kalitesini azaltarak beslenme, üreme gibi verim özelliklerini bozar (Todgham, 2013, Williams, 2010).

Arı kolonilerinin beklenmedik şartlarda ortaya çıkan ısı stresine maruz kalması endokrinolojik ve bağışıklık gibi farklı metabolik fonksiyonlarını bozabilir. Bal arılarının değişen koşullardaki farklı sıcaklık, nem ve ultraviyole (UV) radyasyona maruziyete, beslenme miktarına ve çeşitliliğindeki azalmaya nasıl tepki verdikleri, adapte olup olamadıkları ciddi öneme sahiptir. Değişik coğrafyalara adapte olmuş bulunan farklı arı tür ve alt türleri, beklenmedik düzeylerde ve türlerde farklı stres seviyelerine maruz kalabilir. Tüm bunlar arı kolonilerinde istenmeyen davranışlara, verim kayıplarına neden olabilir. Bu gibi durumlara direnebilen yerel alt türlerin beklenmedik değişikliklere uyum sağlama kabiliyetleri oldukça değerlidir (Amiri, 2025; Gonzalez, 2025; , Tlak, 2025).

Arıların iklim değişikliğinin neden olduğu ekolojik bozukluklara adapte olma hızları açıkca bu etkilerin en aza indirilmesini sağlayacak asimilasyon ve genetik bozulmalardan kaçınılmasına bağlıdır. Yerel yetiştirme hatlarının, hastalık direncini ve beslenme faaliyetini korumak için en uygun ekotipleri ürettiği gösterilmiştir (McAfee, 2021).

Sekiz ana ve dört ikincil ülkenin katılımıyla gerçekleştirilen kapsamlı bir işbirliği çalışması olan 60 aylık MEDIBEES AB projesi, bu alanda önde gelen bir araştırma girişimi olarak öne çıkmaktadır. Tüm ortakların kapsamlı örnekler sunması ve sektörün gelecekteki temsilini şekillendirmede önemli bir rol oynamasıyla, arıcılık sektörüne önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu, Akdeniz'e komşu ülkelerde küresel ısınma ve iklim değişikliğinin arıcılık üzerindeki etkilerini araştıran Medibees projesi olarak başlatılan uluslararası bir bilimsel işbirliği girişimidir. Ortak ülkeler Türkiye, İspanya, İtalya, Portekiz, Malta, Cezayir, Ürdün ve Lübnan'dır. Birleşik Arap Emirlikleri, Mısır, İran, Yunanistan kısmi katılım göstermektedir.

Bu çalışmanın amaçları, Akdeniz bölgesine özgü çeşitli bal arısı alt türlerinin genetik arka planını kapsamlı bir şekilde incelemektir. Ek olarak, araştırma, bu bal arısı alt türlerinin Akdeniz bölgesinde bulunan özel çevresel koşullara nasıl adapte olduklarını daha derinlemesine anlamayı amaçlamaktadır.

Bir diğer amaç ise bu arıların iklim değişikliği karşısındaki dayanıklılığını değerlendirmektir. Bu alanları araştırarak, çalışma, Akdeniz bal arısı alt türlerinin genetik yapısı ve doğal yaşam alanlarına uyum yeteneği hakkında bilgi edinmeyi ve ayrıca iklim değişikliğinin devam eden ve gelecekteki etkilerine ne kadar iyi dayanabileceklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Amaç, çalışmaya katılan ülkelerdeki farklı Apis mellifera alt türlerinin genetiğini haritalamaktır. Bu, bu alt türlerin yaşadıkları benzersiz Akdeniz ortamlarına etkili bir şekilde uyum sağlamalarını sağlayan belirli genetik özelliklerin belirlenmesini içerir. Bu genetik adaptasyonları anlayarak, proje bu yerel Akdeniz alt türlerini ve ekotiplerini bu katılımcı ülkelerde bulunan arıcılık toplulukları içinde teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Amaç, yerel arıcılar arasında bu yerel alt türlerin benimsenmesini ve desteklenmesini teşvik ederek, daha sürdürülebilir ve bölgesel olarak uyarlanmış bir arıcılık uygulamasını teşvik etmektir. Bu çaba, Akdeniz iklimlerinde hayatta kalma ve verimlilik için faydalı özelliklerin tanınmasını ve en üst düzeyde kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır; bu da hem arılara hem de onlara güvenen arıcılara avantajlar sunmaktadır. Bu bağlamda, diğer ortaklarla olduğu gibi, Türkiye'de arı alt türlerine göre bölgelere ayrılmış saha ve laboratuvar denemeleri yapılmıştır. Farklı testler ve analizler için bal arıları, bal bitkileri ve kovan taban tahtalarından örnekler toplandı. Akdeniz bölgesinde yüz binlerce arıcıya geçim kaynağı sağlayan arıcılık,bölgenin çok çeşitli ve zorlu koşullarına uyum sağlamış bir dizi farklı yerli Apis mellifera alt türüne dayanmaktadır (Khalifa, 2021; Hernández, 2025).

Sonuç ve tartışma:

Bu hedeflere ulaşmak için, yerel alt türlere ait koloniler, hayatta kalma, zararlılara/patojenlere duyarlılık, davranış, fizyoloji ve üreme gibi çevresel koşullar altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla fenotipik olarak incelenecektir. Bu incelemeler, gen ekspresyonu ve transkriptomik analizlerle tamamlanacaktır. Ayrıca, adaptasyonda rol oynadığı düşünülen genleri bulmak ve bal arısı popülasyonlarını çevresel stres faktörlerine karşı dirençlerine göre karakterize etmek için yeni genetik araçlar geliştirmek amacıyla saha ve laboratuvar örneklerinin tam genomları dizilenecektir.

Bu çalışma, yerel alt türlerin kullanımını teşvik ederek onları daha çekici hale getirecek ve yabancı ırkların ithalatından kaçınmayı sağlayacak ve gelecekteki seleksiyon programları için temel oluşturacaktır. Ayrıca, balın kullanımının teşvik edilmesi ve kalite etiketlerinin geliştirilmesi yoluyla balın değerinin artırılması ve arıcılık yan ürünlerinin toprak verimliliğini ve biyotayı iyileştirici olarak değerlendirilmesi de arıcıların çiftliklerinin sürdürülebilirliğini ekonomik ve çevresel açıdan sağlıklı bir şekilde iyileştirmelerine yardımcı olmak amacıyla ele alınmaktadır. Bu proje, Avrupa Birliği tarafından desteklenen PRIMA programının bir parçasıdır.

Kaynaklar:

Abou-Shaara HF. (2024). The response of heat shock proteins in honey bees to abiotic and biotic stressors. J Therm Biol. 119:103784.

Amiri, E., Abou-Shaara, H. & McAfee, A. (2025). The effect of major abiotic stressors on honey bee (Apis mellifera L.) queens and potential impact on their progeny. Apidologie 56.

Degrandi-Hoffman G, Graham H, Ahumada F, Smart M, Ziolkowski N. (2019) The Economics of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Management and Overwintering Strategies for Colonies Used to Pollinate Almonds. J Econ Entomol. 9;112(6):2524-2533.

Gonzalez VH, Rancher W, Vigil R, Garino-Heisey I, Oyen K, Tscheulin T, Petanidou T, Hranitz JM, Barthell JF. (2024) Bees remain heat tolerant after acute exposure to desiccation and starvation. J Exp Biol. 15;227(24):jeb249216.

Hernández-Rivera Á, Chávez-Ríos R, Dáttilo W, Esquivel-Román A, Castelán F, Montoya B, González-Tokman D. (2025) Stress response of the honey bee exposed to warming, starvation and neonicotinoids. J Insect Physiol. 12, 88–99

Khalifa SAM, Elshafiey EH, Shetaia AA, El-Wahed AAA, Algethami AF, Musharraf SG, AlAjmi MF, Zhao C, Masry SHD, Abdel-Daim MM, Halabi MF, Kai G, Al Naggar Y, Bishr M, Diab MAM, El-Seedi HR. (2021). Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. Insects.

McAfee A, Tarpy DR, Foster LJ. (2021) Queen honey bees exhibit variable resilience to temperature stress. PLoS One. 11;16(8):e0255381.

Tlak Gajger, I., & Cvetkovikj, A. (2025). Antioxidant Potential of Pollen Polyphenols in Mitigating Environmental Stress in Honeybees (Apis mellifera). Antioxidants, 14(9), 1086.

Todgham AE, Stillman JH. (2013) Physiological responses to shifts in multiple environmental stressors: relevance in a changing world. Integr Comp Biol. 53(4):539-44.

Williams GR, Tarpy DR, vanEngelsdorp D, Chauzat MP, Cox-Foster DL, Delaplane KS, Neumann P, Pettis JS, Rogers RE, Shutler D. (2010) Colony Collapse Disorder in context. Bioessays. 32(10):845-6.

Zhao, H., Li, G., Guo, D. (2021) Response mechanisms to heat stress in bees. Apidologie 52, 388–399

LABORATUVAR HAYVANLARINDA DENEYSEL TÜMÖR MODELLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Merve Bişkin Türkmen
Kırıkkale Üniversitesi\ Veteriner Fakültesi, Patoloji Anabilim Dalı
biskinm@gmail.com- ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2922-3155

Özet

Kanser, çok eski zamanlardan bu yana tanımlanmış bir hastalık olup günümüzde kalp ve damar hastalıklarının ardından küresel ölçekte en yüksek mortalite oranına sahip ikinci nedendir. Kanser biyolojisinin moleküler temellerinin aydınlatılması ve etkili tedavi stratejilerinin geliştirilmesi sürecinde deneysel tümör modelleri vazgeçilmez araştırma araçları olarak öne çıkmaktadır. Laboratuvar hayvanlarında kullanılan deneysel tümör modelleri; in vitro yaklaşımlar ve in vivo uygulamalar çerçevesinde kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. İn vitro tümör modelleri, hücre proliferasyonu, invazyon, metastaz ve ilaç etkinliğinin nicel olarak analiz edilmesine olanak tanırken; tümör mikroçevresinin karmaşık yapısını sınırlı ölçüde yansıtmaktadır. Buna karşılık in vivo modeller, tümör gelişimi, progresyonu ve metastatik sürecin fizyolojik bütünlük içinde incelenmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, kimyasal, fiziksel ve viral karsinojenlerle indüklenen modeller, karsinogenezin çok basamaklı doğasının anlaşılmasında önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle hastadan türetilmiş ksenogreft (PDX) modelleri, primer tümörün histopatolojik ve genetik özelliklerini yüksek doğrulukla koruyarak translasyonel kanser araştırmalarında güçlü bir platform oluşturmaktadır. Ortotopik PDX modelleri, tümör mikro-ortamını ve metastatik süreci subkutan modellere kıyasla daha gerçekçi biçimde yansıtmasıyla öne çıkmaktadır. Transgenik fare modelleri ise kanserin moleküler patogenezinde rol oynayan özgül genetik yolakların incelenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Sonuç olarak, deneysel tümör modellerinin araştırma hedefleri doğrultusunda ve standartlaştırılmış yaklaşımlar temelinde seçilmesi, gerek temel onkoloji araştırmalarında gerekse klinik uygulamalara yönelik çalışmalarda güvenilir ve aktarılabilirliği yüksek sonuçların ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deneysel tümör modelleri, in vivo kanser modelleri, in vitro tümör modelleri, hastadan türetilmiş ksenogreft (PDX) modeller, transgenik fare, veteriner onkoloji

EXPERIMENTAL TUMOR MODELS IN LABORATORY ANIMALS

Asst. Prof. Merve Biskin Turkmen
Department of Pathology, Faculty of Veterinary Medicine, Kırıkkale University
biskinm@gmail.com - ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2922-3155

Abstract
Cancer has been a defined disease since ancient times and is currently the second leading cause of mortality worldwide, following cardiovascular diseases. In the process of elucidating the molecular foundations of cancer biology and developing effective treatment strategies, experimental tumor models emerge as indispensable research tools. Experimental tumor models used in laboratory animals are comprehensively addressed within the framework of in vitro approaches and in vivo applications. While in vitro tumor models allow for the quantitative analysis of cell proliferation, invasion, metastasis, and drug efficacy, they reflect the complex structure of the tumor microenvironment to a limited extent. In contrast, in vivo models enable the investigation of tumor development, progression, and the metastatic process within physiological integrity. In this context, models induced by chemical, physical, and viral carcinogens provide significant contributions to understanding the multi-step nature of carcinogenesis. Particularly, patient-derived xenograft (PDX) models create a powerful platform in translational cancer research by preserving the histopathological and genetic characteristics of the primary tumor with high accuracy. Orthotopic PDX models stand out by reflecting the tumor micro-environment and metastatic process more realistically compared to subcutaneous models. Transgenic mouse models, on the other hand, provide important advantages in examining specific genetic pathways that play a role in the molecular pathogenesis of cancer. Consequently, the selection of experimental tumor models based on research objectives and standardized approaches enables the presentation of reliable and transferable results for both oncology research and studies oriented toward clinical applications.
Keywords: Experimental tumor models, in vivo cancer models, in vitro tumor models, patient-derived xenograft (PDX) models, transgenic mouse, veterinary oncology

GİRİŞ

Tarihsel süreç boyunca insan sağlığını ciddi biçimde tehdit eden kanser, günümüzde kardiyovasküler hastalıklardan sonra en yaygın ikinci ölüm nedeni olarak kabul edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü, 2050 yılı itibarıyla dünya nüfusunun yaklaşık %16'sının yaşamı boyunca en az bir kez kanser tanısı alacağını öngörmektedir (Bray ve Moller 2006). Son üç yüzyılda yürütülen deneysel kanser araştırmaları, yeni tedavi stratejilerinin geliştirilmesinde hayvan modellerinin vazgeçilmezliğini ortaya koymuştur. Günümüzde kimyasal, fiziksel ve biyolojik olmak üzere 100'den fazla karsinojen tanımlanmış; bu etkenlerin büyük bölümünün DNA hasarı yoluyla hücre proliferasyonunu tetiklediği gösterilmiştir. Bununla birlikte, organizmanın karmaşık biyolojik yanıtlarının bütüncül olarak anlaşılabilmesi için yalnızca in vitro sistemler yeterli olmamakta, in vivo deneysel modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Zeybek 2013). Kanser araştırmalarında kullanılan in vitro ve in vivo tümör modelleri; karsinojenlerin tanımlanması,

tümör büyümesi ve metastazın moleküler mekanizmalarının aydınlatılması ve yeni tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından temel araştırma araçlarıdır. İn vivo modeller, metastatik sürecin karmaşıklığını fizyolojik bir bütünlük içinde yansıtabilmesine karşın, süreçlerin nicel olarak izlenmesi ve görselleştirilmesi çoğu zaman sınırlıdır. Buna karşılık in vitro modeller, tümör mikroçevresinin yalnızca belirli yönlerini taklit etmesine rağmen, deneysel değişkenlerin yüksek düzeyde kontrolüne ve ayrıntılı nicel analizlere olanak tanır (Cekanova ve Rathore 2014, Denayer ve ark 2014).

İn vitro tümör modelleri; tek katmanlı hücre kültürlerinden üç boyutlu tümör mikroçevresi sistemlerine kadar uzanan geniş bir yelpazede tasarlanabilmektedir. Bu modeller; tümör hücre proliferasyonu, invazyon, metastaz, ekstraselüler matriks yeniden yapılanması, anjiyogenez ve ilaç etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Model tasarımında hücre kaynağı (hasta kökenli primer hücreler, ticari hücre hatları, kök hücreler, stromal ve immün hücreler), biyofiziksel koşullar (oksijen basıncı, pH, interstisyel akış), ekstraselüler matriks özellikleri ve biyokimyasal faktörler temel değişkenler arasında yer almaktadır. İn vitro tümör modellerinin temelini, hasta kökenli primer hücreler veya ticari hücre hatları oluşturmaktadır. Hücre hatları, çoğaltılmalarının kolay olması ve deneyler arası karşılaştırılabilirlik sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Hasta kaynaklı tümör örnekleri ise hücresel heterojeniteyi ve gen ekspresyon profillerini daha iyi yansıtmakla birlikte, adaptasyon sürecinde klonal seçilim baskısına maruz kalabilmektedir. Hücre kaynağından bağımsız olarak, tüm in vitro modeller, tümör mikroçevresinin belirli bileşenlerini temsil etmeyi amaçlayan indirgenmiş deneysel sistemlerdir. Günümüzde in vitro tümör modelleri genel olarak transwell tabanlı sistemler, sferoid tabanlı modeller, hibrit platformlar ve tümör mikrodamar modelleri şeklinde sınıflandırılmaktadır. Her bir model, kanserin ilerleme ve yayılım basamaklarının farklı yönlerini yansıtmakta olup, özgün avantaj ve sınırlılıklara sahiptir (Greshock ve diğerleri, 2007; Holliday ve Speirs, 2011).

İn Vivo Tümör Modelleri

Deneysel onkoloji araştırmalarında, biyolojik sistemlerle yüksek benzerlik göstermesi, hızlı üreme kapasitesi ve kolay manipülasyon imkânı nedeniyle fareler uzun yıllardır en yaygın kullanılan deney hayvanı olmuştur. Kanser patogenezi ve tedavi yaklaşımlarına yönelik moleküler düzeyde önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, ileri evre klinik denemelerde beklenen başarı oranlarına henüz ulaşılamamıştır. Bu durum, preklinik aşamada kullanılan hayvan modellerinin klinik öngörü gücünün kritik önemini ortaya koymaktadır (Siolas ve Gregory 2013).

İn vivo tümör modellerinde kullanılan greftler; otogreft (aynı birey içinde), allogreft (aynı tür içinde genetik olarak farklı bireyler arasında) ve ksenogreft (farklı türler arasında) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Günümüzde hastadan türetilmiş ksenogreftler (PDX) ve hücre kökenli ksenogreftler (CDX), preklinik ilaç değerlendirmeleri ve temel kanser biyolojisi araştırmaları için yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang ve ark 2019).

İmmün sistemi baskılanmış fare suşlarının geliştirilmesi, insan kaynaklı tümör hücrelerinin immün reddedilme olmaksızın nakledilmesini mümkün kılmıştır. Bu kapsamda en sık kullanılan suşlar; atimik nude fareler, SCID fareler, NOD/SCID gamma (NSG) fareler, RAG gen eksikliği bulunan fareler ve NRG farelerdir. Nude fareler yalnızca T hücrelerinden yoksunken, SCID fareler hem T hem de B hücrelerini içermez. NSG ve NRG fareler ise T, B ve NK hücre eksikliklerine ek olarak sitokin sinyal yollarındaki bozukluklar nedeniyle ileri

düzeyde immün yetmezlik gösterir. Bu özellikler, ksenogreft çalışmalarında yüksek başarı sağlarken, tümör immünolojisi araştırmaları açısından önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır (Shultz ve diğerleri, 2005).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan in vivo tümör modelleri; spontan veya transplante edilebilir tümör modelleri, indüklenmiş tümör modelleri, ksenogreft modeller ve transgenik tümör modelleri olmak üzere dört ana grupta sınıflandırılmaktadır. İn vitro sistemler ilaç taramaları için yararlı olmakla birlikte, etkin ve güvenli tedavilerin geliştirilmesi açısından in vivo modeller vazgeçilmezdir (Koşan 2015).

1. Spontan Tümörler

Özellikle köpek ve kedilerde doğal olarak gelişmekte olup, insan kanserleriyle histopatolojik, biyolojik ve klinik açıdan önemli benzerlikler göstermektedir. Osteosarkom, meme karsinomu, oral melanom, akciğer karsinomu ve yumuşak doku sarkomları gibi birçok tümör tipi, veteriner onkoloji modelleri aracılığıyla insan kanseri araştırmalarına katkı sağlamaktadır. Özellikle köpek osteosarkomu, yüksek metastaz oranı ve kemoterapiye direnç özellikleri nedeniyle metastaz karşıtı tedavilerin değerlendirilmesinde güçlü bir model olarak kabul edilmektedir. Farelerde ise A/J ve SWR soylarında spontan akciğer tümörü insidansının yüksek olması, bu hayvanları tümör biyolojisi ve tedavi çalışmaları için uygun kılmaktadır. Transplante edilebilir tümör modelleri, spontan veya indüklenmiş tümörlerden elde edilen hücre süspansiyonlarının deney hayvanlarına aktarılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu modeller, zaman ve maliyet açısından daha avantajlı olmaları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Transplante edilen tümör hücreleri, tümöre spesifik transplantasyon antijenleri taşıyarak güçlü immün yanıtlar oluşturabilmektedir. Solid tümörler subkutan, intradermal, intramusküler, intraperitoneal veya intravenöz yollarla nakledilebilmektedir (Shimkin ve Stoner 1975, Manenti ve Dragani 2005). Bu kapsamda sık kullanılan modellerden biri olan Ehrlich ascites tümörü, intraperitoneal uygulandığında sıvı (ascites), subkutan uygulandığında ise solid formda tümör gelişimine yol açmaktadır. Ayrıca Wilms renal tümörü ve Lewis akciğer karsinomu gibi transplante edilebilir modeller, tümör büyümesi, metastaz ve tedavi yanıtlarının değerlendirilmesinde standart deneysel sistemler olarak kullanılmaktadır (Afacan 2006,Taşkın 2002, Ekinci 2000).

2. İndüklenmiş Tümör Modelleri

Patolojide karsinojen terimi, hücrelerde genetik hasara yol açarak veya hücresel proliferasyonu kontrolsüz biçimde tetikleyerek kanser gelişimine neden olan maddeleri veya ajanları tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu etkenler; kimyasal, fiziksel ve biyolojik karsinojenler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Deneysel onkolojide indüklenmiş tümör modelleri, bu karsinojenlerin deney hayvanlarına farklı uygulama yollarıyla verilmesi sonucu kontrollü tümör gelişiminin sağlanmasına dayanmaktadır (Zeybek 2013).

Kimyasal karsinojenler, deneysel tümör modellerinde en yaygın kullanılan indükleyici ajanlardır. Günümüzde Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) sınıflandırmasına göre, insan kanserlerinin büyük bölümünün kimyasal ajanlara bağlı olduğu kabul edilmektedir. Deney hayvanlarında kimyasal karsinojenlerle oluşturulan tümör modelleri, hücresel ve moleküler düzeyde insan kanser gelişimine yüksek benzerlik göstermesi nedeniyle translasyonel araştırmalarda önemli bir yere sahiptir (Rasmussen ve ark 2012).

Karsinogenez çok basamaklı bir süreç olup; başlama (inisiasyon), geçiş (promosyon), dönüşüm (konversiyon) ve ilerleme (progresyon) evrelerinden oluşur. İnisiasyon aşamasında, karsinojene maruziyet sonucu DNA'da kalıcı mutasyonlar meydana gelir. Promosyon

aşamasında ise, önceden mutasyona uğramış hücrelerin çoğalması teşvik edilir; bu süreç genellikle geri dönüşümlüdür ve doza bağımlıdır. Dönüşüm evresinde iyi huylu lezyonlar malign fenotipe doğru ilerlerken, progresyon aşamasında genetik instabilite artar, anöploidi gelişir ve tümör invazyon ile metastaz yeteneği kazanır. Bu aşamadan sonra tümör ilerlemesi geri döndürülemez hale gelir (Liu ve ark 2015).

Deneysel hayvan modellerinde, karsinogenezi hızlandırmak amacıyla sıklıkla iki aşamalı bir strateji uygulanmaktadır. Bu yaklaşımda, öncelikle organ spesifik bir inisiyatör ajan ile mutasyon oluşturulmakta, ardından promotör ajanlarla tümör gelişimi desteklenmektedir. Bazı kimyasal ajanlar ise hem başlatıcı hem de promotör özellik göstererek "komple karsinojen" olarak tanımlanmaktadır (Yafune ve ark 2014).

Kimyasal ve Fiziksel Karsinojenlerle İndüklenen Deneysel Tümör Modelleri

Deneysel onkoloji çalışmalarında kimyasal ve fiziksel karsinojenler kullanılarak geliştirilen hayvan modelleri, tümör biyolojisinin aydınlatılması ve antikarsinojenik ajanların değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Kimyasal karsinojenlerle indüklenen tümör modelleri arasında lösemi modelleri önemli bir yer tutmaktadır. 3-metilkolantren (20 mg/kg) ile DBA/2 soylu farelerde intraperitoneal uygulama sonucu lenfositik lösemi oluşturulabilmekte, bu tümörler P388 ve L1210 lösemi modelleri olarak CD2F1 farelere seri pasajlarla aktarılabilmektedir. Her iki model de yüksek tutma ve gelişme potansiyeline sahip olup, lösemi ve lenfoma çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Valeriote ve ark 1985). Meme kanseri çalışmalarında ise polisiklik aromatik hidrokarbonlardan biri olan 7,12-dimetilbenzantrasen (DMBA) ile Sprague Dawley ratlarda yüksek oranda tümör gelişimi sağlanmaktadır. Tek doz veya tekrarlı uygulamalarla kısa sürede meme bezine özgü tümörler oluşmakta; bu tümörlerin büyük kısmını adenokarsinomlar, daha az bir kısmını ise fibroadenomlar oluşturmaktadır (Huggins ve ark 1959). Kolon kanseri için 1,2-dimetilhidrazin (DMH) ile oluşturulan model, insan kolon kanseri ile histopatolojik ve biyolojik açıdan büyük benzerlik göstermektedir. Subkutan enjeksiyon yoluyla uygulanan DMH, kolona özgü toksisitesi sayesinde güvenilir ve tekrarlanabilir bir kolon karsinogenezi modeli sunmaktadır. Mide kanseri çalışmalarında ise MNNG ön uygulamasını takiben MX furanone'un uzun süreli oral verilmesiyle ratlarda mide adenokarsinomu geliştirilebilmektedir (Reddy ve ark 1975). Akciğer kanseri modellerinde, sigara dumanı kaynaklı karsinojenleri temsil eden polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve nitrozaminler sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle benzo(a)piren ve NNK gibi bileşikler, farelerde akciğer adenom ve adenokarsinomlarının güçlü indükleyicileridir (Anttila ve ark 2011).

Fiziksel karsinojenler, özellikle iyonize ve non-iyonize radyasyon, karsinogenezde önemli bir diğer grubu oluşturmaktadır. Radyasyonun karsinojenik etkisi, hücrelere derinlemesine nüfuz ederek enerjisini rastgele bir şekilde biriktirebilme özelliğine dayanmaktadır. Hayvan modelleri üzerinde yapılan çalışmalar, radyasyonun tek başına zayıf bir karsinojen olmasına karşın, çevresel ve biyolojik faktörlerle birlikte etkisinin belirgin şekilde arttığını göstermektedir.

Ultraviyole (UV) radyasyonla indüklenen deri kanseri modelleri, UV'nin hem keratinositler üzerindeki doğrudan genotoksik etkilerini hem de konak immün yanıtı baskılayıcı etkilerini inceleme olanağı sunmaktadır. UV maruziyeti sonucu oluşan DNA hasarı, özellikle skuamöz hücreli karsinom gelişiminde temel rol oynamaktadır (Baba ve Câtoi 2007).

Sonuç olarak, kimyasal ve fiziksel karsinojenlerle oluşturulan deneysel tümör modelleri, insan kanserlerinin patogenezinin anlaşılması ve yeni tanı-tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından vazgeçilmez araçlar olmaya devam etmektedir.

Viral Karsinojenler ve Deneysel Tümör Modelleri

Günümüzde birçok virüsün hayvanlarda çeşitli tümörlere neden olduğu bilinmekle birlikte, yalnızca sınırlı sayıda virüs insan kanserleriyle doğrudan ilişkilendirilmekte ve onkojenik virüsler olarak tanımlanmaktadır. Viral onkogenezisin moleküler temeli oldukça karmaşık olup; kronik enflamasyonun indüklenmesi, konak hücrenin genetik ve epigenetik dengesinin bozulması, DNA hasarı ve hücresel homeostazın kaybı gibi çoklu mekanizmaları içermektedir (Luo ve Ou 2015). Fare Papilloma Virüsü (MmuPV1) ile oluşturulan deri tümörü modelleri, viral karsinogenezin incelenmesinde önemli bir deneysel sistem sunmaktadır. Diğer papilloma virüslerde olduğu gibi MmuPV1 de E6 ve E7 viral onkogenlerini içermektedir. Bu gen ürünlerinin hem in vitro koşullarda hücresel proliferasyonu artırdığı hem de in vivo modellerde belirgin tümörijenik etki gösterdiği ortaya konmuştur. Bu yönüyle MmuPV1 modeli, viral onkoproteinlerin hücresel transformasyondaki rollerinin aydınlatılmasında güçlü bir deneysel araç olarak değerlendirilmektedir (Uberoi ve ark 2016).

3. Ksenogreft Tümör Modelleri

Ksenogreft tümör modelleri, insan kaynaklı tümör dokularının immün yetmez deney hayvanlarına aktarılması esasına dayanmakta olup, kanser biyolojisinin ve tedavi yanıtlarının in vivo koşullarda incelenmesinde önemli bir araştırma aracıdır. Ksenogreft, canlı hücre, doku veya organların bir türden başka bir türe nakledilmesi olarak tanımlanmaktadır. Hastadan türetilmiş ksenogreft (patient-derived xenograft, PDX) modelleri, ilk olarak yaklaşık 40 yıl önce immün sistemi baskılanmış farelerde geliştirilmiş olup, günümüzde translasyonel kanser araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modellerde, cerrahi rezeksiyon veya tanısal işlemler sonrası elde edilen taze tümör örnekleri, doğrudan immün yetmez farelere nakledilmektedir. En sık kullanılan deney hayvanları SCID, NOD/SCID, NSG ve atimik nude farelerdir (Morton ve Houghton, 2007).

PDX tümör modelleri iki temel yöntemle oluşturulmaktadır: tek hücre süspansiyonu veya doku fragmanlarının implantasyonu. Genellikle hastadan elde edilen tümör dokusu, uygun kültür ortamı içerisinde laboratuvara ulaştırılır; nekrotik alanlar uzaklaştırıldıktan sonra tümör dokusu küçük parçalara ayrılır ya da tek hücre süspansiyonu hâline getirilir. Doku fragmanları, tümör hücreleri arasındaki etkileşimleri ve özgün doku mimarisini koruyarak tümör mikro-ortamını daha iyi yansıtırken; tek hücre süspansiyonları tüm tümörün daha tarafsız ve heterojen bir örneklemesini sunar. Ancak tek hücreli preparasyonlar sırasında uygulanan mekanik ve kimyasal işlemler, hücre canlılığını ve engraftrasyon başarısını olumsuz etkileyebilmektedir (Jin ve ark 2010).

PDX modelleri, hücre hattı temelli ksenogreft (CDX) modellerinden farklı olarak, çoğu zaman in vitro çoğaltma basamaklarına ihtiyaç duyulmadan oluşturulabilmektedir. Tümör dokusu yaklaşık 1–2 mm^3 boyutlarında parçalanarak deney hayvanına heterotopik veya ortotopik yolla implante edilir. Heterotopik implantasyon, tümörün özgün anatomik bölgesi dışında, genellikle deri altı veya subrenal kapsüler alana yapılırken; ortotopik implantasyon, tümörün köken aldığı organa nakledilmesini içerir. Ortotopik modeller teknik olarak daha zor olmakla birlikte, primer tümörün biyolojik davranışını ve mikro-ortamını daha doğru biçimde yansıttığı için ideal model olarak kabul edilmektedir (Hidalgo ve ark 2014).

Subkutan PDX modellerinde metastaz nadiren gözlenmekte ve özgün tümör ortamı sınırlı ölçüde taklit edilebilmektedir. Buna karşın ortotopik modeller, organa özgü büyüme ve yayılım özelliklerini daha iyi yansıtır. Tümör oluşumu genellikle 2–4 ay içerisinde gerçekleşmekte olup, bu süre tümör tipi, implantasyon bölgesi ve kullanılan fare suşuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Engraftrasyon başarısının kesin olarak değerlendirilebilmesi için tümör büyümesinin en az 6 ay süreyle izlenmesi önerilmektedir (Tentler ve ark 2012).

3.1. Heterotopik (Ektopik) Ksenogreft Modeli

Heterotopik implantasyonda tümör dokusu, orijinal tümörün anatomik bölgesi dışında bir alana nakledilir. Bu bölgeler genellikle farklı deri altı alanlar, kapsüller arası bölgeler, meme yağ yastığı veya subrenal kapsül olarak tercih edilmektedir. Deri altı ksenogreft modelleri, özellikle antikanser tedavilere yanıtın değerlendirilmesinde, primer tümör hacmindeki değişimlerin kolay ölçülebilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak subkutan PDX modellerinde metastaz nadiren görülür ve özgün tümör mikro-ortamının taklidi sınırlıdır (Morton ve Houghton, 2007).

3.2. Ortotopik Ksenogreft Modeli

Ortotopik ksenogreft modellerinde, tümör dokusu veya hücreleri primer tümörün köken aldığı organa karşılık gelen anatomik bölgeye implante edilir. Bu yöntem, tümör hücrelerinin büyümesi ve progresyonu için en uygun biyolojik ortamı sağlamakta ve insan tümörlerinin kompleks yapısını in vivo koşullarda en iyi şekilde yansıtmaktadır. Bu nedenle ortotopik modeller, kişiselleştirilmiş moleküler tedavi yaklaşımlarında önemli bir araştırma aracıdır.

Ortotopik implantasyonun subkutan modellere kıyasla en önemli avantajı, tümör mikro-ortamını daha gerçekçi biçimde yansıtması ve tümör hücre alt popülasyonlarının ortaya çıkmasına olanak sağlamasıdır. Ayrıca bu modeller, primer tümör oluşumu, lokal invazyon, intravazasyon, ekstravazasyon, mikrometastaz ve makrometastaz gelişimi dâhil olmak üzere metastatik sürecin tüm basamaklarının izlenmesine imkân tanır. Bununla birlikte, ortotopik modeller teknik açıdan daha zor olup, cerrahi girişim, özel donanım ve deneyimli personel gerektirmesi en önemli dezavantajlarıdır. Günümüzde renal hücre karsinomu, pankreas, beyin, prostat, kolon ve akciğer kanserleri için ortotopik modeller yaygın olarak kullanılmakta; özellikle akciğer ortotopik modelleri NCI tarafından ön plana çıkarılmaktadır (Ray, Tsien ve Gambhir, 2007).

Ksenogreft (PDX) Tümör Modellerinde Uygulama, Pasaj ve Başarıyı Etkileyen Faktörler

Tümör dokusu elde edildikten sonra, nekrotik alanlar uzaklaştırılarak tümörün büyük bir kısmı 1–2 mm^3 boyutlarında küçük parçalara ayrılır ve kültür ortamı ile 3–4 kez yıkanarak implantasyona hazır hâle getirilir. Uzun süreli kullanım ve stoklama amacıyla, doku %10 dimetil sülfoksit (DMSO) içeren fetal sığır serumu (FBS) ile hazırlanan dondurma solüsyonuna alınarak −80 °C'de saklanır. Bu şekilde muhafaza edilen tümör dokuları, ilerleyen dönemlerde yeni alıcı farelere yeniden nakledilebilir.

Dondurulmuş tümör dokusunun yeniden implantasyonu öncesinde, stok materyal 37 °C su banyosunda tamamen çözdürülür ve %1 penisilin/streptomisin içeren DMEM veya RPMI ortamı bulunan plastik tüplere alınır. Daha sonra tümör fragmanları petri kaplarına transfer edilerek yeniden implantasyon için hazır hâle getirilir.

Hastadan alınan tümör fragmanlarının nakledildiği ilk nesil fareler F0 olarak adlandırılır. Tümör yeterli boyuta ulaştığında disseke edilerek yeni alıcı farelere implante edilir ve bu süreçte oluşan her yeni jenerasyon sırasıyla F1, F2, F3 … Fn olarak tanımlanır. İlaç geliştirme

ve tedavi yanıtı çalışmalarında, PDX tümörlerinin genetik ve histolojik özelliklerinin orijinal tümörle uyumlu olduğunun doğrulanmasının ardından genellikle F3 ve üzeri pasajlar tercih edilmektedir (Julien ve ark 2012).

PDX modelinin başarı oranı çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Bunların başında primer tümörün biyolojik özellikleri gelmektedir. Tümörün agresifliği, histolojik tipi ve tümör hücre yoğunluğu engraftrasyon başarısını doğrudan etkiler. Örneğin, üçlü negatif meme kanserleri, östrojen reseptörü pozitif veya HER2-pozitif tümörlere kıyasla daha yüksek başarı oranı göstermektedir. İkinci önemli faktör, doku işleme sürecidir. Tümör dokusunun mümkün olduğunca taze olması, ameliyat odasından laboratuvara taşınma süresinin kısa tutulması ve soğuk zincirin korunması büyük önem taşır. Üçüncü olarak, implante edilen doku parçalarının sayısı ve boyutu başarıyı etkileyen parametrelerdir; 1–2 mm^3 boyutlarında ve daha fazla sayıda fragman kullanılması başarı oranını artırmaktadır. Son olarak implantasyon bölgesi de kritik bir belirleyicidir. Subrenal kapsül içine yapılan implantasyonlar, subkutan uygulamalara kıyasla daha yüksek engraftrasyon oranı gösterir; bunun temel nedeni, subrenal kapsülün tümör stromasını ve konak mikro-ortamını daha iyi korumasıdır. Genel olarak, immün reddin olmadığı ortamlara daha iyi adapte olabilen tümör dokularında başarı olasılığı daha yüksektir (Byrne ve ark 2017).

PDX Kökenli Spesifik Tümör Modelleri

PDX kökenli meme tümörü modellerinde, insan meme tümörlerinden elde edilen doku fragmanlarının nude veya NOD/SCID farelere implante edilmesiyle %12–37 arasında değişen oranlarda tümör oluşumu bildirilmiştir. Oluşan tümörlerin büyük çoğunluğunun histopatolojik olarak orijinal tümörle yüksek uyum gösterdiği ortaya konmuştur (DeRose ve ark 2011).

Pankreas kanseri PDX modellerinde, insan pankreas adenokarsinomlarından elde edilen tümör fragmanlarının subkutan ve ortotopik olarak nude farelere implante edilmesiyle yaklaşık %60'ın üzerinde başarı sağlandığı bildirilmiştir. Ortotopik modellerde tümörlerin komşu organlara invazyon gösterebildiği ve histopatolojik olarak primer tümörle güçlü korelasyon sergilediği saptanmıştır (Bruns ve ark 1999).

Akciğer kanseri modellerinde ise hem hücre hattı temelli ksenogreftler (CDX) hem de PDX yaklaşımları kullanılmaktadır. Özellikle adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom ve büyük hücreli karsinomlara ait farklı hücre dizileri, subkutan veya ortotopik olarak implante edilmekte; ortotopik modeller metastatik sürecin değerlendirilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Kellar ve ark 2015).

4. Transgenik Fare Tümör Modelleri

Transgenik fare modelleri, genomlarına yabancı veya modifiye edilmiş genlerin eklenmesi yoluyla spontan tümör gelişimini sağlayan sistemlerdir. Bu modeller, gen fonksiyon kaybı (knockout) veya fonksiyon kazanımı (knock-in) yaklaşımlarıyla oluşturulabilmektedir (Kersten ve ark 2017).

Transgenik fareler, özellikle onkogen aktivasyonu veya tümör baskılayıcı gen inaktivasyonunun kanser gelişimine etkilerini incelemede değerli olmakla birlikte, insan tümörlerinin heterojen yapısını tam olarak yansıtamaması ve yüksek maliyetleri nedeniyle sınırlılıklar taşımaktadır. Meme ve akciğer kanserleri için geliştirilen ras, MMTV/v-Ha-ras ve SV40 T antijeni temelli modeller, tümör biyolojisi ve hedefe yönelik tedavilerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha yavaş tümör gelişimi sağlayan bazı

transgenik modeller ise karsinogenezin erken evrelerinin araştırılmasına olanak tanımaktadır (Sinn ve ark 1987).

SONUÇ

Deneysel tümör modelleri, kanser biyolojisinin anlaşılması ve yeni tanı-tedavi stratejilerinin geliştirilmesinde temel araştırma araçlarıdır. İn vitro modeller, hücresel düzeyde kontrollü ve nicel analizler sunarken, tümör mikro-ortamının karmaşık yapısını sınırlı ölçüde yansıtmaktadır. Buna karşılık in vivo modeller, tümör gelişimi, progresyonu ve metastazın fizyolojik bütünlük içinde incelenmesine olanak sağlayarak translasyonel araştırmalarda kritik bir rol üstlenmektedir.

Kimyasal, fiziksel ve viral karsinojenlerle indüklenen deneysel tümör modelleri, karsinogenezin çok basamaklı doğasının aydınlatılmasına önemli katkılar sunmaktadır. Hastadan türetilmiş ksenogreft (PDX) modelleri ise primer tümörün histopatolojik ve genetik özelliklerini büyük ölçüde koruyarak preklinik ilaç değerlendirmeleri ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımları için güçlü bir platform oluşturmaktadır. Özellikle ortotopik PDX modelleri, tümör mikro-ortamını ve metastatik süreci subkutan modellere kıyasla daha gerçekçi biçimde yansıtmaktadır. Transgenik fare modelleri, kanserin moleküler patogenezinde rol oynayan özgül genetik yolakların incelenmesinde önemli avantajlar sağlamakla birlikte, insan tümör heterojenitesini sınırlı ölçüde yansıtabilmektedir.

Sonuç olarak, deneysel tümör modellerinin araştırma amacına uygun, standardize ve çok yönlü bir yaklaşımla seçilmesi; elde edilen bulguların güvenilirliği, tekrarlanabilirliği ve klinik öngörü gücü açısından kritik öneme sahiptir. İn vitro, in vivo, PDX ve transgenik modellerin birbirini tamamlayıcı şekilde kullanılması, hem temel onkoloji araştırmalarında hem de klinik uygulamalara yönelik translasyonel çalışmalarda daha güçlü ve aktarılabilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Afacan, İ. D., Ehrlich Asit Tümörü Taşıyan Balb/C Irkı Farelerde *Plantago major* L. Ekstraktının Antitümöral Etkisinin *in vivo* Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2006.
2. Anttila, S., Raunio, H., Hakkola, J. Cytochrome P450-mediated pulmonary metabolism of carcinogens: regulation and cross-talk in lung carcinogenesis, American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology, 44, 2011.
3. Baba, A. I., Câtoi, C. Comparative oncology, Bucharest, The Publishing House of the Romanian Academy, 2007.
4. Bray, F., Moller, B. Predicting the future burden of cancer, Nature Reviews Cancer, 6, 1, 2006.
5. Bruns, C. J., Harbison, M. T., Kuniyasu, H., Eue, I., Fidler, I. J. In vivo selection and characterization of metastatic variants from human pancreatic adenocarcinoma by using orthotopic implantation in nude mice, Neoplasia, 1, 1, 1999.
6. Byrne, A. T., Alférez, D. G., Amant, F., Annibali, D., Arribas, J., Biankin, A. V., Trusolino, L. Interrogating open issues in cancer precision medicine with patient-derived xenografts, Nature Reviews Cancer, 17, 4, 2017.
7. Cekanova, M., Rathore, K. Animal models and therapeutic molecular targets of cancer: utility and limitations, Drug Design, Development and Therapy, 8, 2014.
8. Denayer, T., Stöhr, T., Van Roy, M. Animal models in translational medicine: validation and prediction, New Horizons in Translational Medicine, 2, 1, 2014.
9. Ekinci, G., Katı Ehrlich Ascites Tümörünün Büyüme Kinetiği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
10. Greshock, J., Bachman, K. E., Degenhardt, Y. Y., Jing, J., Wen, Y. H., Eastman, S., McNeil, E., Moy, C., Wegrzyn, R., Auger, K., Hardwicke, M. A., Wooster, R. Cancer cell lines as genetic models of their parent histology: analyses based on array comparative genomic hybridization, Cancer Research, 67, 8, 2007.
11. Hidalgo, M., Amant, F., Biankin, A. V., Budinská, E., Byrne, A. T., Caldas, C., EurOPDX Consortium. Patient-derived xenograft models: an emerging platform for translational cancer research, Cancer Discovery, 4, 9, 2014.
12. Holliday, D. L., Speirs, V. Choosing the right cell line for breast cancer research, Breast Cancer Research, 13, 2011.
13. Huggins, C., Grand, L. C., Brillantes, F. P. Critical significance of breast structure in the induction of mammary cancer in the rat, Proceedings of the National Academy of Sciences, 45, 8, 1959.
14. Jin, K., Teng, L., Shen, Y., et al. Patient-derived human tumour tissue xenografts in immunodeficient mice: a systematic review, Clinical & Translational Oncology, 12, 7, 2010.
15. Julien, S., et al. Characterization of a large panel of patient-derived tumor xenograft models representing colorectal cancer clinical heterogeneity, Clinical Cancer Research, 18, 19, 2012.
16. Kellar, A., Egan, C., Morris, D. Preclinical murine models for lung cancer: clinical trial applications, BioMed Research International, 2015, 2015.
17. Kersten, K., de Visser, K. E., van Miltenburg, M. H., Jonkers, J. Genetically engineered mouse models in oncology research and cancer medicine, EMBO Molecular Medicine, 9, 2, 2017.
18. Koşan, Ç. Deneysel tümör modelleri ve kanser araştırmalarında kullanımı, Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü Dergisi, 5, 2, 2015.

19. Liu, T., Babaniyi, O. A., Hall, T. J., Barbone, P. E., Oberai, A. A. Noninvasive in-vivo quantification of mechanical heterogeneity of invasive breast carcinomas, PLoS ONE, 10, 7, 2015.
20. Luo, G. G., Ou, J. J. Oncogenic viruses and cancer, Virologica Sinica, 30, 2, 2015.
21. Manenti, G., Dragani, T. A. Pas1 haplotype-dependent genetic predisposition to lung tumorigenesis in rodents: a metaanalysis, Carcinogenesis, 26, 2005.
22. Morton, C. L., Houghton, P. J. Establishment of human tumor xenografts in immunodeficient mice, Nature Protocols, 2, 2, 2007.
23. Rasmussen, P. E., Levesque, C., Chinier, M., Gardner, H. D., Jones-Otazo, H., Petrovic, S. Canadian house dust study: population-based concentrations, loads and loading rates of arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, lead, and zinc inside urban homes, Science of the Total Environment, 443, 2012.
24. Ray, P., Tsien, R. Y., Gambhir, S. S. Construction and validation of improved triple fusion reporter gene vectors for molecular imaging of living subjects, Cancer Research, 67, 7, 2007.
25. Reddy, B. S., Narisawa, T., Wright, P., Vukusich, D., Weisburger, J. H., Wynder, E. L. Colon carcinogenesis with azoxymethane and dimethylhydrazine in germ-free rats, Cancer Research, 35, 2, 1975.
26. Shimkin, M. B., Stoner, G. D. Lung tumors in mice: application to carcinogenesis bioassay, Advances in Cancer Research, 21, 1975.
27. Shultz, L. D., Lyons, B. L., Burzenski, L. M., et al. Human lymphoid and myeloid cell development in NOD/LtSz-scid IL2Rγnull mice engrafted with mobilized human hemopoietic stem cells, Journal of Immunology, 174, 10, 2005.
28. Sinn, E., Muller, W., Pattengale, P., Tepler, I., Wallace, R., Leder, P. Coexpression of MMTV/v-Ha-ras and MMTV/c-myc genes in transgenic mice: synergistic action of oncogenes in vivo, Cell, 49, 4, 1987.
29. Siolas, D., Gregory, R. I. Synthetic lethal RNAi screening in mammalian cells, Nature Reviews Genetics, 14, 6, 2013.
30. Taşkın, E. G., Ehrlich Ascites Tümörü ile Balb-C Farelerde Oluşturulmuş Solid Tümör Modelinde Curcuminin Apoptoz Üzerine Etkileri, Tez, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2002.
31. Tentler, J. J., Tan, A. C., Weekes, C. D., Jimeno, A., Leong, S., Pitts, T. M., Eckhardt, S. G. Patient-derived tumour xenografts as models for oncology drug development, Nature Reviews Clinical Oncology, 9, 6, 2012.
32. Uberoi, A., Yoshida, S., Frazer, I. H., Pitot, H. C., Lambert, P. F. Role of ultraviolet radiation in papillomavirus-induced disease, PLoS Pathogens, 12, 5, 2016.
33. Valeriote, F. A. Experimental rationale for therapy in the treatment of acute leukemia, Biology and Therapy of Acute Leukemia, May, 1985.
34. Wang, Y., et al. Patient-derived xenograft models in cancer therapy, Chinese Clinical Oncology, 8, 2, 2019.
35. Yafune, A., Taniai, E., Morita, R., Akane, H., Kimura, M., Mitsumori, K., Shibutani, M. Immunohistochemical cellular distribution of proteins related to M phase regulation in early proliferative lesions induced by tumor promotion in rat two-stage carcinogenesis models, Experimental Toxicologic Pathology, 66, 2014.
36. Zeybek, Ü. Kanser araştırmaları ve deneysel modeller, Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü Dergisi, 3, 5, 2013.

COMPARATIVE PERSPECTIVES ON URBAN TRANSFORMATION: GLOBAL APPROACHES AND OUTCOMES ACROSS TEN COUNTRIES

Asst. Prof. Dr., Fatih TAKTAK
Uşak University,
fatih.taktak@usak.edu.tr- ORCID ID: 0000-0003-1324-2036

ABSTRACT

Urban transformation (UT) has emerged as a crucial policy tool for enhancing the environmental, social, and economic sustainability of cities across the globe. Ten countries Turkey, Japan, Germany, the United States, China, South Korea, England, South Africa, Brazil, and India with varying governance systems, development paths, and urban challenges are compared in this study's evaluation of UT approaches and results. Ten criteria policy objectives, implementation strategies, legal and institutional arrangements, socio-economic impacts, environmental sustainability, technological solutions, community participation, project scale, implementation challenges, and demographic effects—were used to evaluate transformation projects using a multidimensional evaluation framework. Both primary and secondary data sources are used in the analysis. While secondary data came from peer-reviewed studies and reports published by international organizations like UN-Habitat, the OECD, and the World Bank, primary data came from structured surveys with experts in urban planning, engineering, sociology, and environmental sciences. A Likert-scale scoring system with a range of 0 to 5 was used to assess country performances. Additionally, patterns of international collaboration in UT practices were examined using social network analysis. The results show that while India and Japan exhibit noteworthy accomplishments in socioeconomic outcomes and disaster resilience, China and South Korea exhibit strong performance in technological integration and community engagement. Brazil and South Africa present serious sustainability-related issues, while Germany stands out as a model for environmental sustainability, especially in energy-efficient urban projects. The importance of integrated, context-sensitive strategies for sustainable UT is emphasized in the presentation's conclusion, along with transferable policy lessons.

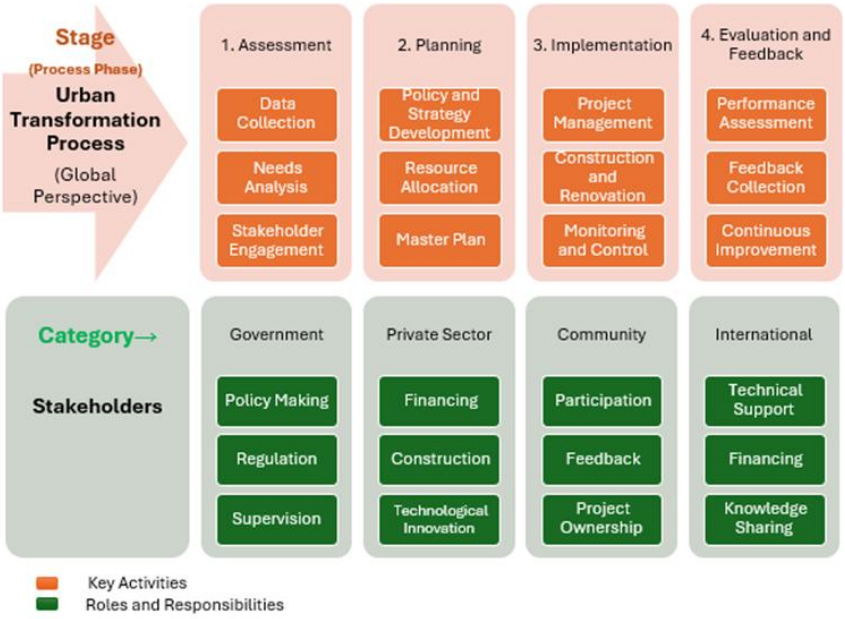
Keywords: Urban transformation; Comparative analysis; Land use governance; Environmental sustainability; Urban policy; Community participation; Global case studies.

1. INTRODUCTION

Urban transformation refers to coordinated interventions that reshape the physical fabric, governance arrangements, and socio-economic functions of urban areas, often motivated by risk reduction, infrastructure modernization, housing renewal, and sustainability goals (Roberts and Sykes, 2020; Healey, 2004). In contexts exposed to earthquake risk, transformation policies frequently prioritize resilience and safer building stock (Sorensen, 2002; Mori and

Christodoulou, 2012). In European settings, transformation commonly aligns with energy efficiency and environmental policy targets (Rode and Burdett, 2011), while rapidly urbanizing countries may emphasize large-scale redevelopment and infrastructure expansion (Wu, 2007; Chen, 2018).

Despite extensive practice, cross-country evidence is often fragmented by region, policy tradition, and governance capacity. This study addresses this gap by comparing ten national contexts (Turkey, Japan, Germany, USA, China, South Korea, England, South Africa, Brazil, and India) using a structured evaluation framework informed by global sustainability agendas (UN-Habitat, 2020; United Nations, 2021). The analysis aims to (i) identify strengths and weaknesses across countries, (ii) illuminate the relative role of governance, sustainability, and participation, and (iii) provide transferable lessons for more effective urban transformation policy design. Recommended Figure (optional but strongly useful):



Source: Author's elaboration based on collaborative planning and urban regeneration literature (Healey, 1997; Roberts and Sykes, 2020).

Figure 1. Urban transformation process model (stages–stakeholders–key activities).

2. METHODOLOGY AND APPLICATIONS

2.1. Comparative Evaluation Design

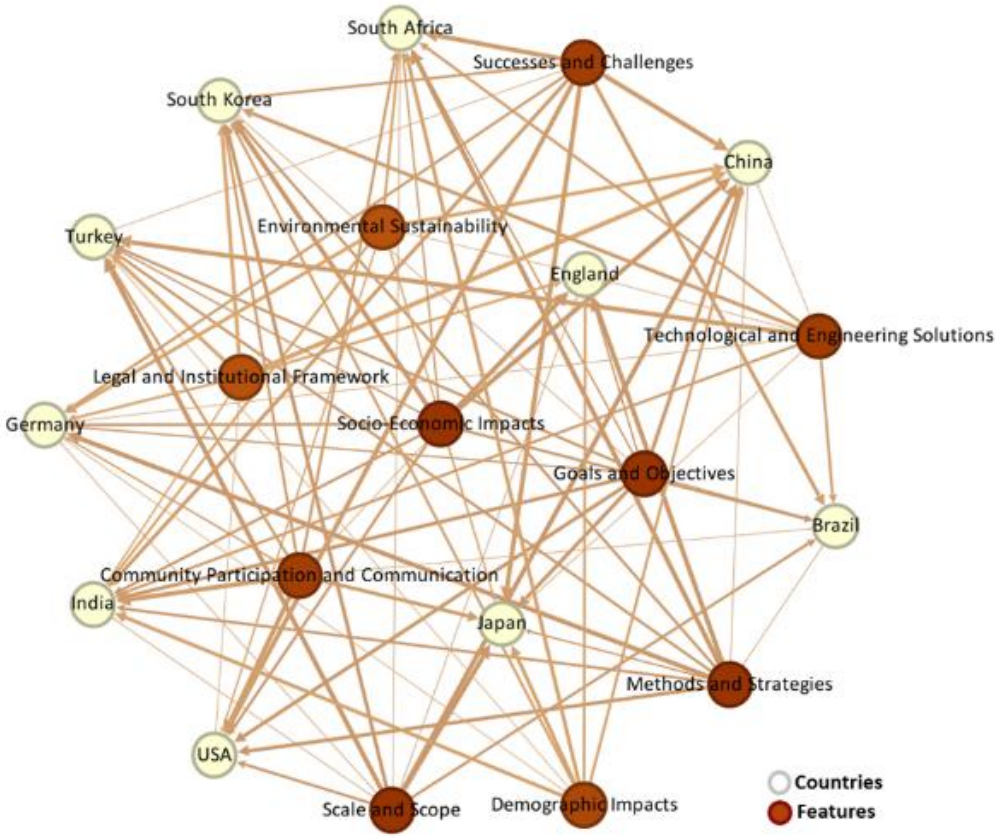
The study employs a comparative assessment using ten criteria: (1) goals and objectives, (2) methods and strategies, (3) legal and institutional framework, (4) socio-economic impacts, (5) environmental sustainability, (6) technological and engineering solutions, (7) community participation and communication, (8) scale and scope, (9) successes and challenges, and (10) demographic impacts (Leary and McCarthy, 2013; Roberts and Sykes, 2020). Each country is rated on a 0–5 Likert scale (0 = not characteristic at all; 5 = very characteristic), consistent with established guidance on Likert measurement (Likert, 1932; Joshi et al., 2015).

Table 1 reports the country-by-criterion scoring matrix used to compute total performance patterns.

2.2. Social Network Analysis

To complement the comparative scoring, social network analysis (SNA) is used to examine structural relationships between countries and project features, enabling interpretation of which countries and criteria occupy central positions in the comparative "similarity and collaboration" structure (Wasserman and Faust, 1994; Borgatti et al., 2018). SNA indicators include weighted density and normalized centrality measures (degree, closeness, betweenness). The network is visualized using standard SNA tools (Borgatti and Foster, 2002), consistent with common practice for network representation and interpretation.

Recommended Figure (optional but strongly useful):



Source: Author's network visualization based on SNA principles (Wasserman and Faust, 1994; Borgatti et al., 2018).

Figure 2. Social network visualization of countries and project features.

3. RESULTS AND EVALUATION

3.1. Comparative Results Across Countries

The comparative matrix (Table 1) reveals that performance varies substantially across both countries and criteria. Overall totals indicate stronger aggregate profiles for China and India, followed by South Korea and Japan; Brazil shows the lowest total score in this dataset. Importantly, "high performance" is not uniform across dimensions: some countries score strongly in technology and scale yet lag in environmental sustainability and/or participatory

governance, reflecting known trade-offs in transformation practice (Rode and Burdett, 2011; Shin, 2009).

Table 1. Comparative Scoring of Urban Transformation Projects (0–5 Likert scale)

Attributes / Countries	Turkey	Japan	Germany	USA	China	South Korea	England	South Africa	Brazil	India	TOTAL
Goals and Objectives	3	4	2	4	4	1	2	2	2	4	28
Methods and Strategies	3	2	5	4	1	3	5	5	1	3	32
Legal and Institutional Framework	4	0	3	1	5	4	3	0	0	2	22
Socio-Economic Impacts	2	1	3	3	5	5	5	2	3	3	32
Environmental Sustainability	0	2	4	2	4	0	1	3	0	3	19
Technological and Engineering Solutions	5	1	1	0	1	4	1	3	3	3	22
Community Participation and Communication	3	4	2	5	0	3	1	3	1	5	27
Scale and Scope	5	5	1	3	5	4	1	1	3	1	29
Successes and Challenges	1	5	3	5	5	3	0	5	4	4	35
Demographic Impacts	1	4	1	0	3	3	3	4	0	4	23
TOTAL	**27**	**28**	**25**	**27**	**33**	**30**	**22**	**28**	**17**	**32**	

Source: Author's compilation based on the study's comparative evaluation framework and the supporting literature and reports (Roberts and Sykes, 2020; UN-Habitat, 2020; United Nations, 2021).

3.2. Social Network Analysis Results

The SNA findings show a weighted density of 53.80%, indicating moderately strong connectivity in the comparative structure. Centrality patterns suggest that Germany, England, and India occupy more central positions, implying higher structural importance in the network, whereas Brazil exhibits lower centrality values, reflecting a more peripheral position. These findings align with the interpretation that central nodes often represent widely comparable governance features or transferable strategies (Wasserman and Faust, 1994; Borgatti et al., 2018).

Table 2. Normalized Centrality Measures

Node / Centrality	Degree	Closeness	Betweenness
Turkey	0.474	0.633	0.031
Japan	0.474	0.633	0.031
Germany	0.526	0.679	0.042
USA	0.421	0.594	0.025
China	0.474	0.633	0.034
South Korea	0.474	0.633	0.031

England	0.526	0.679	0.042
South Africa	0.474	0.633	0.031
Brazil	0.368	0.559	0.014
India	0.526	0.679	0.042

WD = 269/500 = 53.80%.
Source: Author's calculations and synthesis based on SNA metrics and standard methodology (Wasserman and Faust, 1994; Borgatti et al., 2018).

4. GENERAL DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The comparative results demonstrate that urban transformation performance depends on the interaction of governance capacity, sustainability orientation, and implementation tools. Countries with strong technological and engineering approaches may still underperform if environmental sustainability and participation mechanisms remain weak, consistent with sustainability-oriented regeneration debates (Rode and Burdett, 2011; Leary and McCarthy, 2013). Similarly, rapid implementation and large-scale transformation can amplify socio-economic impacts but may generate sustainability trade-offs if regulatory frameworks and enforcement are insufficient (Wu, 2007; Chen, 2018).

From a policy standpoint, the results support four actionable directions:

(1) strengthen legal–institutional coordination and enforcement capacity (Healey, 2004; UN-Habitat, 2020);

(2) mainstream environmental sustainability in performance monitoring (United Nations, 2021);

(3) prioritize community participation and transparent communication to reduce displacement risks and build legitimacy (Healey, 1997; Fainstein, 2010); and

(4) align technology and innovation with social inclusion outcomes (Shin, 2009; Yoon, 2021).

REFERENCES

1. Roberts, P. and Sykes, H., *Urban regeneration: A handbook*, SAGE Publications, 2020.
2. Healey, P., "The treatment of space and place in the new strategic spatial planning in Europe," *International Journal of Urban and Regional Research*, 28(1), 45–67, 2004.
3. Leary, M.E. and McCarthy, J., *The Routledge companion to urban regeneration*, Routledge, 2013.
4. Sorensen, A., *The making of urban Japan: Cities and planning from Edo to the twenty-first century*, Routledge, 2002.
5. Mori, H. and Christodoulou, N., "Urban planning and earthquake resilience in Japan," *Journal of Urban Planning and Development*, 138(4), 285–294, 2012.

6. Rode, P. and Burdett, R., "Cities and energy: Urban morphology and residential heat-energy demand," *Environment and Planning B: Planning and Design*, 38(2), 209–229, 2011.

7. Wu, F., *China's emerging cities: The making of new urbanism*, Routledge, 2007.

8. Chen, X., "Urbanization and urban transformation in China," *Journal of Urban Economics*, 103, 1–15, 2018.

9. Shin, H.B., "Residential redevelopment and social impacts in Seoul: Implications for urban regeneration," *Cities*, 26(3), 152–159, 2009.

10. UN-Habitat, *World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization*, United Nations Human Settlements Programme, 2020.

11. United Nations, *The Sustainable Development Goals Report 2021*, United Nations, 2021.

12. Likert, R., "A technique for the measurement of attitudes," *Archives of Psychology*, 22(140), 5–55, 1932.

13. Joshi, A., Kale, S., Chandel, S. and Pal, D.K., "Likert scale: Explored and explained," *British Journal of Applied Science & Technology*, 7(4), 396–403, 2015.

14. Wasserman, S. and Faust, K., *Social network analysis: Methods and applications*, Cambridge University Press, 1994.

15. Borgatti, S.P., Everett, M.G. and Johnson, J.C., *Analyzing social networks*, SAGE Publications, 2018.

16. Borgatti, S.P. and Foster, P.C., "The network paradigm in organizational research: A review and typology," *Journal of Management*, 29(6), 991–1013, 2002.

17. Healey, P., *Collaborative planning: Shaping places in fragmented societies*, Macmillan, 1997.

18. Fainstein, S.S., *The just city*, Cornell University Press, 2010.

BUILDING AMNESTY AND LAND USE GOVERNANCE: COMPARATIVE INSIGHTS WITH A FOCUS ON TURKEY

Asst. Prof. Dr. Fatih TAKTAK
Uşak University
fatih.taktak@usak.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-1324-2036

ABSTRACT

Building amnesty policies are widely used to address unplanned and informal development in rapidly urbanizing contexts. This study presents a comparative assessment of building amnesty practices from a land use governance and environmental sustainability perspective, with a focus on Turkey. Using a comparative policy analysis approach, the study examines amnesty frameworks in ten countries representing diverse legal systems, governance capacities, and urbanization dynamics. The findings reveal considerable variation in the objectives and institutional integration of building amnesty policies. Germany integrates amnesty mechanisms into strict regulatory frameworks and long-term spatial planning systems, emphasizing environmental sustainability and enforcement credibility. Brazil and South Africa prioritize tenure security and the social integration of informal settlements, while Italy and Spain incorporate heritage conservation and adaptive reuse considerations. In contrast, India and Indonesia face ongoing challenges in balancing rapid urban growth with limited enforcement capacity. Hybrid approaches observed in Kenya, Greece, and Mexico reflect fiscal constraints and administrative fragmentation. In the case of Turkey, building amnesty policies have produced short-term economic benefits, including increased fiscal revenues and the formalization of informal structures. However, these outcomes have been accompanied by long-term risks such as unregulated urban expansion, environmental degradation, infrastructure stress, and weakened land use control mechanisms. The study concludes that Turkey's building amnesty framework remains largely reactive and discusses policy pathways for aligning amnesty instruments with sustainability-oriented land use governance and strategic urban planning.

Keywords: Building amnesty; Land use governance; Informal urbanization; Environmental sustainability; Comparative policy analysis

1. INTRODUCTION

Rapid urbanization has intensified pressure on land use systems, particularly in countries experiencing large-scale rural-to-urban migration and institutional capacity constraints. As a result, informal and unauthorized construction has become a persistent challenge for urban governance, prompting governments to adopt building amnesty policies as corrective instruments (Mthiyane et al., 2022; Akinwande and Hui, 2022).

Building amnesty generally refers to the legal regularization of structures constructed in violation of planning and building regulations. While such policies may deliver short-term benefits by formalizing informal structures and increasing public revenues, repeated amnesty practices have been criticized for weakening regulatory credibility and encouraging further informal development (Hurwitz et al., 2022).

Turkey represents a particularly significant case due to its long-standing reliance on building amnesty as a recurring urban policy tool. Since the mid-twentieth century, numerous amnesty regulations have been enacted, culminating in the 2018 “Zoning Peace” regulation, which aimed to legalize millions of unauthorized structures (Polat, 2019; Döner, 2022; Erensu, 2023).

2. METHODOLOGY AND APPLICATIONS

This study adopts a qualitative comparative policy analysis framework to examine building amnesty practices across ten countries: Germany, Italy, Spain, Brazil, South Africa, India, Indonesia, Mexico, Greece, and Kenya. Country selection was based on the relevance of amnesty practices, diversity of governance systems, and availability of policy documentation (Pan and Du, 2021; Benites and Simoes, 2021).

The analysis focuses on four analytical dimensions:
(i) regulatory integration and enforcement capacity,
(ii) social objectives and tenure security,
(iii) environmental and spatial planning considerations, and
(iv) long-term land use governance implications.

2.1. Comparative Governance Approaches

International experiences reveal distinct governance models. Germany represents a regulatory-integration model in which amnesty mechanisms are rare and strictly embedded within comprehensive spatial planning frameworks. Brazil and South Africa prioritize social integration and tenure security through the regularization of informal settlements. Italy and

Spain emphasize heritage conservation and adaptive reuse, while India and Indonesia face persistent challenges related to rapid urban growth and limited enforcement capacity.

Table 1. Dominant Building Amnesty Governance Models

Governance Model	Primary Objective	Key Characteristics	Representative Countries
Regulatory integration	Preserve planning authority	Strict enforcement, environmental compliance	Germany
Social integration	Secure tenure and inclusion	Infrastructure provision, social rights	Brazil, South Africa
Heritage-oriented	Protect cultural assets	Adaptive reuse, conservation-based amnesty	Italy, Spain
Capacity-constrained	Manage rapid urbanization	Weak enforcement, fragmented governance	India, Indonesia
Hybrid model	Balance revenue and regulation	Selective amnesty practices	Kenya, Greece, Mexico

Source: *Author's compilation based on Polat (2019), Erensu (2023), Karaca and Dilsiz (2023).*

3. RESULTS AND EVALUATION

Turkey's building amnesty policies have generated significant short-term outcomes, particularly in terms of fiscal revenue generation and the formalization of informal structures. However, repeated amnesty practices have also produced structural risks, including weakened land use control mechanisms, environmental degradation, and increasing infrastructure pressure (Karaca and Dilsiz, 2023; Aksoy Khurami, 2024).

Table 2. Short-Term Benefits and Long-Term Risks of Building Amnesty in Turkey

Dimension	Short-Term Outcomes	Long-Term Risks
Legal	Legal recognition of informal buildings	Erosion of regulatory credibility
Economic	Increased public revenues	Distorted land and housing markets
Spatial	Expansion of registered building stock	Uncontrolled urban sprawl
Environmental	Partial infrastructure improvements	Loss of green areas, ecological stress
Governance	Rapid administrative resolution	Weak land use control

Source*: Author's compilation based on Döner (2022), Aksoy Khurami (2024).*

4. GENERAL DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Comparative findings indicate that the effectiveness of building amnesty policies depends largely on their integration within broader land use governance frameworks. Countries that treat amnesty as an exceptional and tightly regulated instrument tend to preserve planning authority and environmental sustainability.

In Turkey, building amnesty remains largely reactive. To enhance sustainability, amnesty policies should be redefined as exceptional mechanisms, integrated with strategic spatial planning, and supported by strong enforcement and environmental safeguards.

Table 3. Governance Orientation of Building Amnesty Policies: Turkey vs. Sustainability-Oriented Models

Governance Dimension	Turkey	Sustainability-Oriented Models
Policy orientation	Reactive and repetitive	Exceptional and preventive
Planning integration	Weak	Strong
Enforcement capacity	Limited	High
Environmental safeguards	Secondary	Core requirement
Long-term vision	Short-term regularization	Strategic land use governance

Source: Comparative synthesis by the author.

REFERENCES

1. Mthiyane, N., Musakwa, W. and Dube, T., Urbanization dynamics and informal development in rapidly growing cities, *Habitat International*, 120, 102503, 2022.
2. Akinwande, T. and Hui, E.C., Housing supply value chain in relation to housing the urban poor, *Habitat International*, 130, 102687, 2022.
3. Hurwitz, A., Calavita, N. and Vitiello, G., Building amnesty as a policy instrument: Governance, compliance and urban outcomes, *Urban Studies*, 59(14), 2871–2889, 2022.
4. Döner, A., İmar barışı düzenlemesinin kentsel planlama üzerindeki etkileri, *Planlama*, 32(2), 245–258, 2022.
5. Erensu, S., Urban governance and zoning amnesty in Turkey, *Environment and Planning C: Politics and Space*, 41(6), 1026–1044, 2023.
6. Polat, S., Türkiye'de yapı affı uygulamalarının tarihsel gelişimi ve mekânsal etkileri, *Planlama*, 29(3), 410–425, 2019.
7. Karaca, E. and Dilsiz, Ş., Zoning amnesty and environmental impacts: Evidence from Turkey, *Land Use Policy*, 125, 106467, 2023.
8. Aksoy Khurami, E., Unconditional authorization: Insights from the 2018 development amnesty in Türkiye, *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 21(3), 619–635, 2024.

9. Pan, Y. and Du, Q., Comparative urban governance and land-use regulation in developing contexts, *Cities*, 118, 103335, 2021.

10. Benites, A.J. and Simoes, A.F., Assessing urban sustainable development strategies through governance indicators, *Ecological Indicators*, 127, 107734, 2021.

11. Rose, R. and Mackenzie, W., Comparing forms of comparative analysis, *Political Studies*, 39(3), 446–462, 1991.

12. Pickvance, C.G., Four varieties of comparative analysis, *Journal of Housing and the Built Environment*, 16(1), 7–28, 2001.

6 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİ SONRASINDA KİLİS VE HATAY'DA İLÇE BAZINDA NÜFUSUN MEKÂNSAL SÜREKLİLİĞİ: CBS VE WORLDPOP VERİLERİ ÜZERİNDEN BİR ANALİZ

Dr. Öğretim Üyesi Ceren YAĞCI
Osmaniye Korku Ata Üniversitesi
cerenyagci@osmaniye.edu.tr- 0000-0002-4429-7809

ÖZET

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında nüfusun mekânsal dağılımında meydana gelen değişimleri incelemektedir. Çalışmanın temel inceleme alanını Kilis ili oluşturmakta; depremden ağır biçimde etkilenen Hatay iline bağlı Antakya ve Defne ilçeleri ise karşılaştırmalı bir bağlamda ele alınmaktadır. Analizde, deprem öncesi (2022) ve deprem sonrası (2023) dönemlere ait WorldPop yüksek çözünürlüklü raster nüfus verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı mekânsal analiz yöntemleri kullanılmıştır. İlçe bazında gerçekleştirilen karşılaştırmalı analizler hem Kilis'te hem de Hatay'ın Antakya ve Defne ilçelerinde deprem sonrası dönemde nüfusun mekânsal dağılımında belirgin ve yaygın bir değişim yaşanmadığını ortaya koymuştur. Nüfus yoğunluğu, her iki alanda da deprem öncesi dönemde var olan kentsel çekirdekler etrafında yoğunlaşmaya devam etmektedir.

Kilis'te gözlenen mekânsal süreklilik, ilin depremin merkezinde yer almaması ve yapı hasarının görece sınırlı düzeyde kalmasıyla ilişkilendirilirken; Hatay'da ağır yapı hasarına rağmen benzer bir mekânsal sonucun ortaya çıkması, kentsel yoğunlukların tarihsel olarak güçlü biçimde yerleşmiş olması ve WorldPop verilerinin yoğunluk temelli yapısı ile açıklanmaktadır. Bu bağlamda çalışma, afetlerin demografik etkilerinin her zaman nüfusun mekânsal yeniden dağılımı şeklinde ortaya çıkmadığını ve mekânsal sürekliliğin de afet sonrası demografik süreçlerin anlaşılmasında analitik açıdan anlamlı bir bulgu sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kilis, Hatay, 6 Şubat 2023 depremleri, nüfusun mekânsal dağılımı, mekânsal süreklilik, CBS, WorldPop

SPATIAL CONTINUITY OF DISTRICT LEVEL POPULATION DISTRIBUTION IN KİLİS AND HATAY AFTER THE FEBRUARY 6, 2023 EARTHQUAKES: A GIS AND WORLDPOP-BASED ANALYSIS

ABSTRACT

This study examines changes in the spatial distribution of population following the February 6, 2023, Kahramanmaraş centered earthquakes. The primary focus of the analysis is Kilis province, while the districts of Antakya and Defne in Hatay province—one of the region's most severely affected by the earthquakes are considered within a comparative framework. The analysis employs high-resolution raster population data from WorldPop for the pre-earthquake (2022) and post-earthquake (2023) periods, together with Geographic Information Systems (GIS)-based spatial analysis methods. District-level comparative analyses reveal that neither Kilis nor the Antakya and Defne districts of Hatay experienced a pronounced or widespread change in the spatial distribution of population after the earthquakes. In both areas, population density continues to concentrate around pre-existing urban cores.

The spatial continuity observed in Kilis is associated with the province's location outside the main rupture zones and the relatively limited level of structural damage. In contrast, the emergence of a similar spatial outcome in Hatay—despite severe building damage—can be explained by the historically well-established nature of urban population concentrations and the density-oriented structure of WorldPop data. In this context, the study demonstrates that the demographic impacts of disasters do not always manifest as spatial redistribution of population and that spatial continuity constitutes an analytically meaningful finding for understanding post-disaster demographic processes.

Keywords: Kilis, Hatay, February 6, 2023 earthquakes, spatial distribution of population, spatial continuity, GIS, WorldPop

1. GİRİŞ

Doğal afetler, yalnızca fiziksel çevrede yol açtıkları yıkımlarla değil, aynı zamanda nüfusun mekânsal dağılımı ve yerleşim örüntülerinde meydana getirdikleri değişimlerle de toplumsal yapıyı derinden etkilemektedir. Özellikle büyük ölçekli depremler, yerinden edilme, zorunlu göç ve geçici nüfus hareketleri aracılığıyla demografik yapının yeniden şekillenmesine neden olabilmektedir (Ayık, Bilim & Durmuş, 2024). Ancak afetlerin nüfus üzerindeki etkileri, her yerleşim alanında aynı düzeyde ortaya çıkmamakta; bu etkiler, depremin şiddeti, fiziksel hasar düzeyi, yerleşimlerin büyüklüğü ve yerel koşullara bağlı olarak farklılaşmaktadır (OECD, 2023).6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, Türkiye'nin güneyinde yer alan 11 ili doğrudan etkilemiş ve milyonlarca insanın yaşamını farklı düzeylerde etkilemiştir. Depremler sonrasında özellikle ağır hasar alan illerde kitlesel yerinden edilme ve nüfus hareketleri yaşanırken, bazı illerde ise nüfusun büyük ölçüde mevcut yerleşim alanlarında kalmaya devam ettiği gözlenmiştir. Bu durum, afetlerin demografik etkilerinin homojen değil, yerel bağlama duyarlı bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır (OECD, 2023). Son yıllarda geliştirilen yüksek çözünürlüklü mekânsal nüfus veri setleri, afet sonrası nüfus analizlerine yeni olanaklar sunmaktadır. Bu veri setleri arasında yer alan WorldPop, nüfusun fiilî mekânsal dağılımını raster tabanlı olarak modellemesi sayesinde, adres kayıtlı nüfus verilerinin sınırlılıklarını aşarak afet sonrası nüfus örüntülerinin daha ayrıntılı biçimde incelenmesine imkân tanımaktadır (Tatem, 2017). WorldPop verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile kullanılması, nüfusun ilçe ve alt ölçeklerdeki mekânsal sürekliliğinin veya değişiminin karşılaştırmalı olarak analiz edilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında Kilis ve Hatay illerinde nüfusun ilçe bazındaki mekânsal dağılımını, deprem öncesi (2022) ve deprem sonrası (2023) dönemlere ait WorldPop verilerini karşılaştırarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel amacı, deprem sonrası dönemde görece sınırlı fiziksel hasara maruz kalan küçük ölçekli bir il olan Kilis'te nüfusun mekânsal dağılımında süreklilik mi yoksa değişim mi yaşandığını, ağır yıkım ve yüksek yerinden edilme oranlarıyla öne çıkan Hatay ili ile karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır. Demografik çalışma, farklı ölçek ve hasar düzeylerine sahip illerde afetlerin demografik etkilerinin nasıl farklılaştığını analiz ederek, afet sonrası nüfus dinamiklerine ilişkin literatüre mekânsal temelli bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

3. VERİ ve YÖNTEM

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında Kilis ve Hatay illerinde nüfusun ilçe bazındaki mekânsal dağılımını ve değişimini analiz etmek amacıyla WorldPop yüksek çözünürlüklü raster nüfus verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı analiz yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Analizler, deprem öncesi (2022) ve deprem sonrası (2023) dönemlere ait nüfus verilerinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

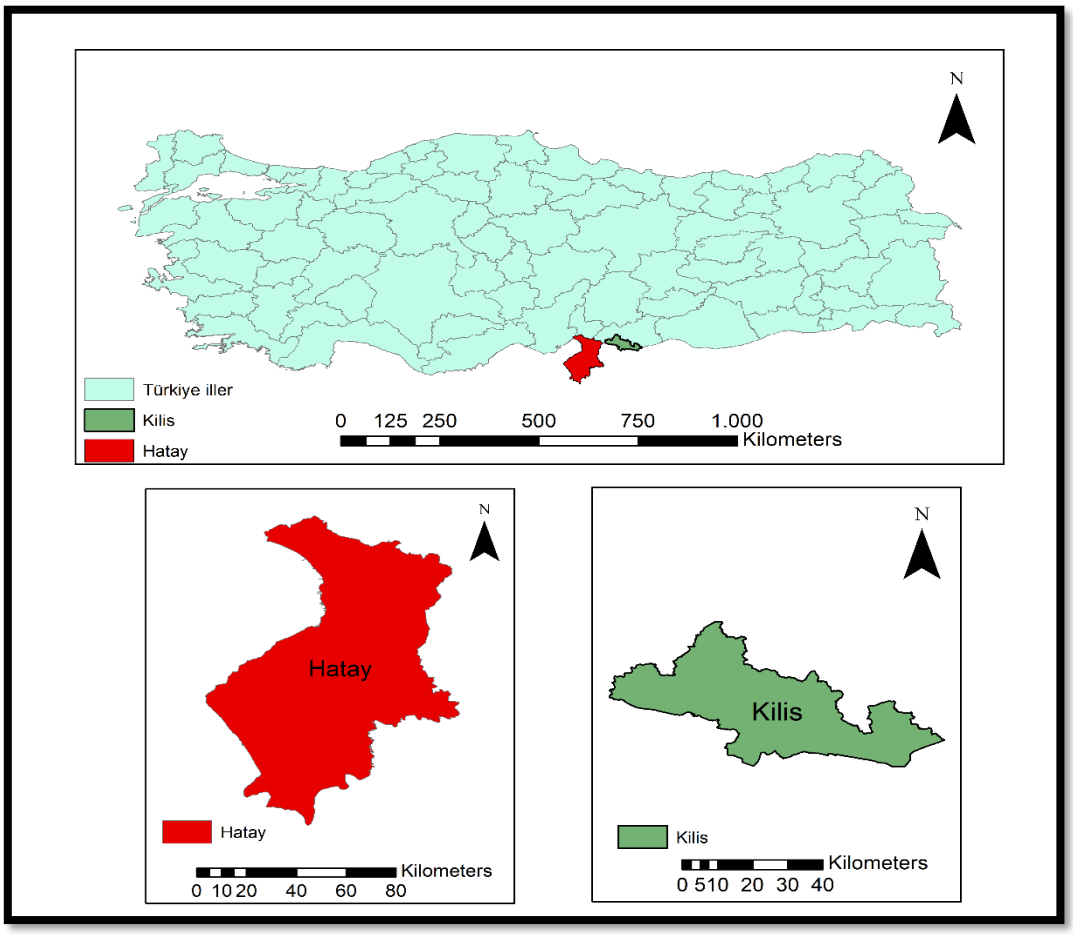
3.1. Çalışma alanı

Bu çalışmanın mekânsal kapsamını, 6 Şubat 2023 depremlerinden etkilenen 11 il arasında yer alan Kilis ve Hatay illeri oluşturmaktadır. Bu iki il hem nüfus büyüklükleri hem de depremden etkilenme düzeyleri bakımından birbirinden belirgin biçimde farklılaşmakta; bu durum, afet

sonrası nüfus değişimlerinin ölçek ve yerel bağlam çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Kilis ili, Türkiye'nin güneyinde Suriye sınırında yer alan ve tarihsel olarak göç hareketlerine açık bir sınır ilidir. 2011 sonrası zorunlu göçlerle demografik yapısında önemli değişimler yaşanmış olmakla birlikte, deprem öncesi dönemde il genelinde yerleşim örüntüsü merkez ilçe ağırlıklı ve görece istikrarlı bir yapı sergilemektedir (İncili, 2020). Kilis depremden etkilenen 11 il arasında nüfus bakımından en küçük il dir.

Hatay ili ise Akdeniz Bölgesi'nin doğusunda yer alan, yüksek nüfuslu, çok merkezli yerleşim yapısına sahip ve 6 Şubat 2023 depremlerinden en ağır biçimde etkilenen illerden biridir. Antakya, Defne ve İskenderun gibi merkezlerde yoğunlaşan yerleşim alanları, deprem sonrası süreçte ciddi fiziksel hasar ve yüksek düzeyde yerinden edilme yaşamıştır.



Görsel 1.Çalışma alanı haritası

3.2. WorldPop Veri Seti

WorldPop projesi, nüfusun mekânsal dağılımını yüksek çözünürlükte modelleyen, açık erişimli küresel bir nüfus veri setidir. WorldPop verileri, nüfus sayımı verilerini; uydu görüntülerinden türetilmiş yapılaşma, arazi örtüsü, ulaşım ağları ve gece ışıkları gibi çok sayıda coğrafi yardımcı değişken (covariate) ile birleştirerek makine öğrenimi temelli yaklaşımlar kullanmaktadır (Tatem, 2017). WorldPop'un temel güçlü yönlerinden biri, nüfusun idari birimlere eşit biçimde dağıtıldığı klasik yaklaşımların aksine, nüfusun fiilî mekânsal yerleşim örüntülerini

yansıtabilmesidir. Bu özellik, özellikle afetler gibi ani nüfus hareketlerinin yaşandığı dönemlerde, nüfusun mekânsal yoğunluklar üzerinden analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca WorldPop veri üretim sürecinin şeffaf olması ve kullanılan yöntemlerin açık biçimde paylaşılması, verinin bilimsel çalışmalarda yaygın biçimde tercih edilmesini sağlamaktadır (Tatem, 2017). Bu çalışmada kullanılan WorldPop raster verileri, yaklaşık 3 arc-second (≈100 m) mekânsal çözünürlüğe sahiptir ve her bir grid hücresinde tahmini toplam nüfus miktarını temsil etmektedir. Bu yüksek çözünürlük, nüfus yoğunluğundaki küçük ölçekli değişimlerin dahi mekânsal olarak izlenebilmesine imkân tanımaktadır.Son yıllarda WorldPop verileri, yalnızca mevcut nüfus dağılımlarının haritalanmasında değil, aynı zamanda geleceğe yönelik nüfus projeksiyonlarının üretilmesinde de kullanılmaktadır. Wang, Meng ve Long (2022), WorldPop tabanlı yaklaşımları kullanarak 1 km çözünürlükte küresel nüfus projeksiyonları üretmiş ve mekânsal nüfus modellerinin uzun dönemli planlama ve risk analizleri açısından taşıdığı önemi ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, WorldPop verilerinin mekânsal güvenilirliğini ve çok amaçlı kullanım potansiyelini desteklemektedir.

Bu çalışma kapsamında, WorldPop'un kısıtlanmamış (unconstrained) raster nüfus verileri kullanılmıştır. Böylece, nüfusun yalnızca yapılaşmış alanlarla sınırlanması yerine, idari birimler içerisindeki genel mekânsal dağılımının analiz edilmesi amaçlanmıştır.

3.3. CBS Tabanlı Analiz Yöntemi

WorldPop raster verilerinin analizi, CBS ortamında aşağıdaki aşamalar izlenerek gerçekleştirilmiştir:

1. Veri Ön İşleme:WorldPop 2022 ve 2023 raster nüfus verileri CBS ortamına aktarılmış; tüm veri setleri WGS84 koordinat sistemine dönüştürülerek ortak bir mekânsal referans sistemi sağlanmıştır.
2. Çalışma Alanının Sınırlandırılması: aster nüfus verileri, Kilis ve Hatay illerine ait idari sınırlar kullanılarak *clip* edilmiştir. Böylece analizler yalnızca çalışma alanları ile sınırlandırılmıştır.
3. İlçe Bazında Mekânsal Örtüştürme: İlçe sınırlarını temsil eden vektör veri setleri kullanılarak raster ve vektör veriler mekânsal olarak örtüştürülmüş; ilçe bazında nüfus yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır.
4. Zamansal Karşılaştırma: Deprem öncesi (2022) ve deprem sonrası (2023) dönemlere ait raster veriler karşılaştırılarak:

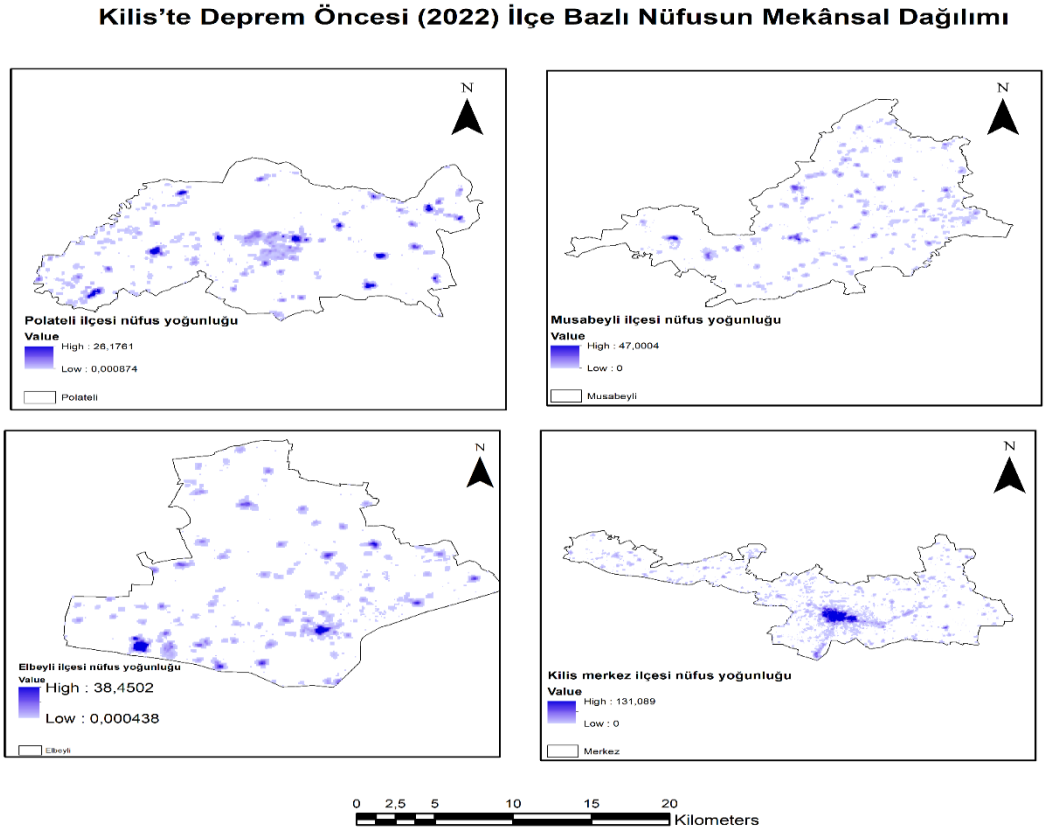
- Maksimum nüfus yoğunluğu değerleri
- İlçe bazında mutlak ve oransal (%) değişimler hesaplanmıştır.

5. Mekânsal Görselleştirme: Analiz sonuçları CBS ortamında haritalandırılarak, deprem öncesi ve sonrası nüfus yoğunluğunun mekânsal dağılımı görsel olarak karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR

İlçe Bazında Mekânsal Süreklilik

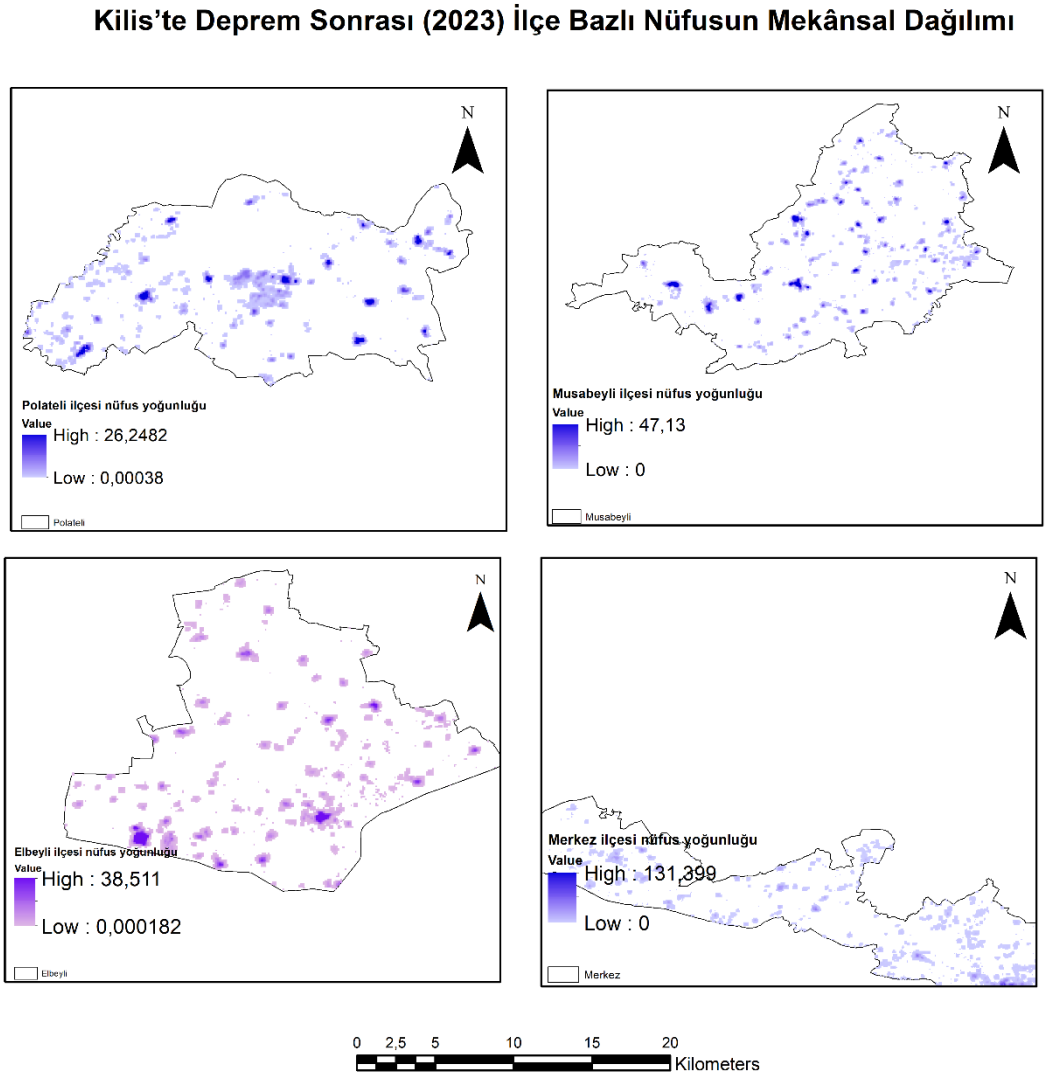
Deprem öncesi dönemde Kilis ilinde nüfus yoğunluğunun mekânsal dağılımı Görsel 2'de sunulmaktadır. Bu harita, nüfusun büyük ölçüde merkez ilçede yoğunlaştığını ve il genelinde görece dengeli bir yerleşim örüntüsü sergilediğini göstermektedir. Kırsal ilçelerde ise nüfus yoğunluğunun düşük olduğu, yerleşimlerin daha seyrek ve dağınık bir yapı arz ettiği dikkat çekmektedir (Görsel 2).



Görsel 2. Kilis ilinde nüfus yoğunluğunun mekânsal dağılımı (2022)

Deprem sonrası döneme ait nüfus yoğunluğu dağılımı Görsel 3'te yer almaktadır. 2023 yılına ait WorldPop verileri, Kilis'te nüfus yoğunluğunun mekânsal deseninde belirgin bir kırılma yaşanmadığını, merkez ilçe ağırlıklı yerleşim yapısının büyük ölçüde korunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, deprem sonrası süreçte Kilis'te nüfusun genel mekânsal örüntüsünün

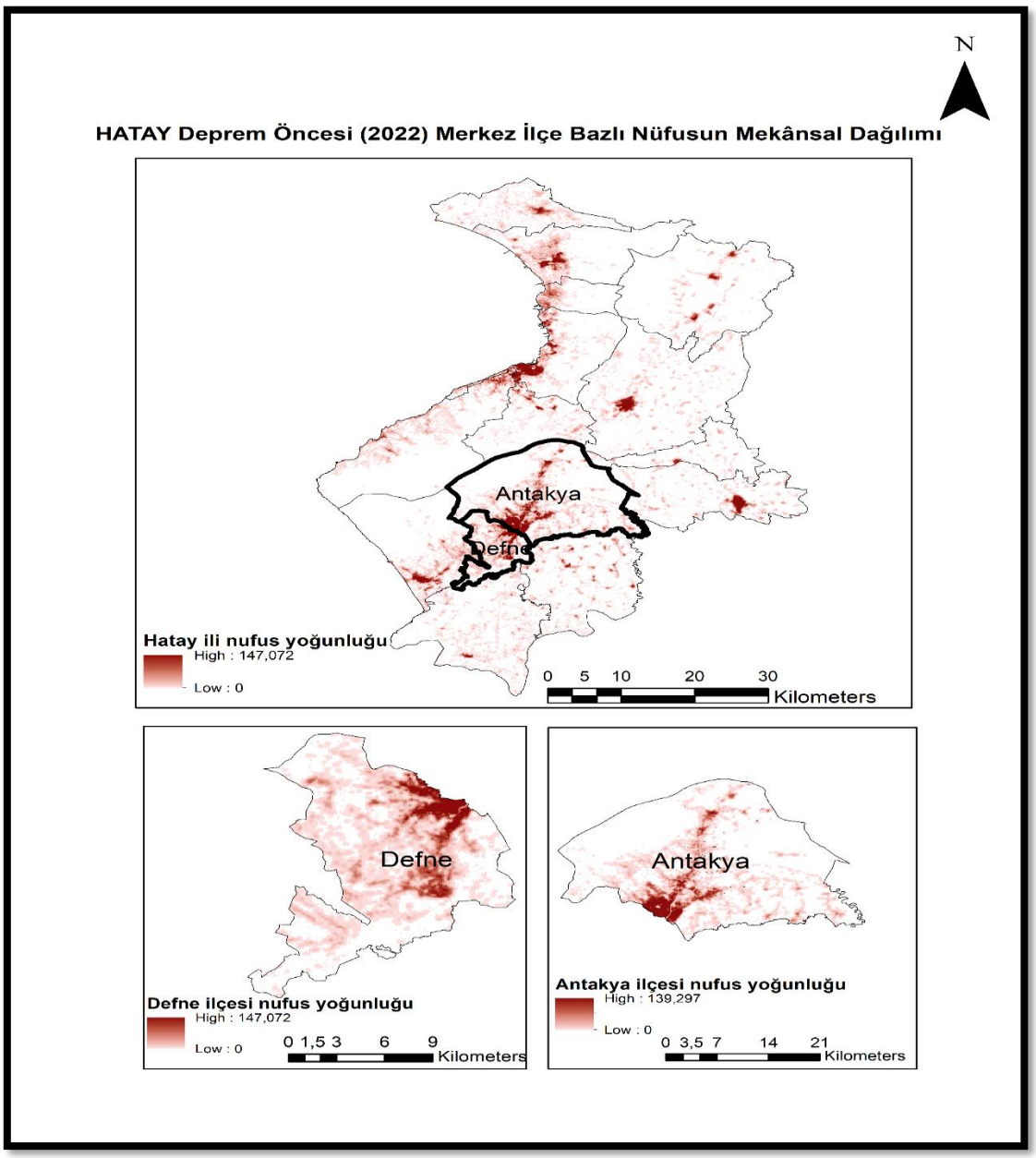
süreklilik gösterdiğine işaret etmektedir (Görsel 2,3).



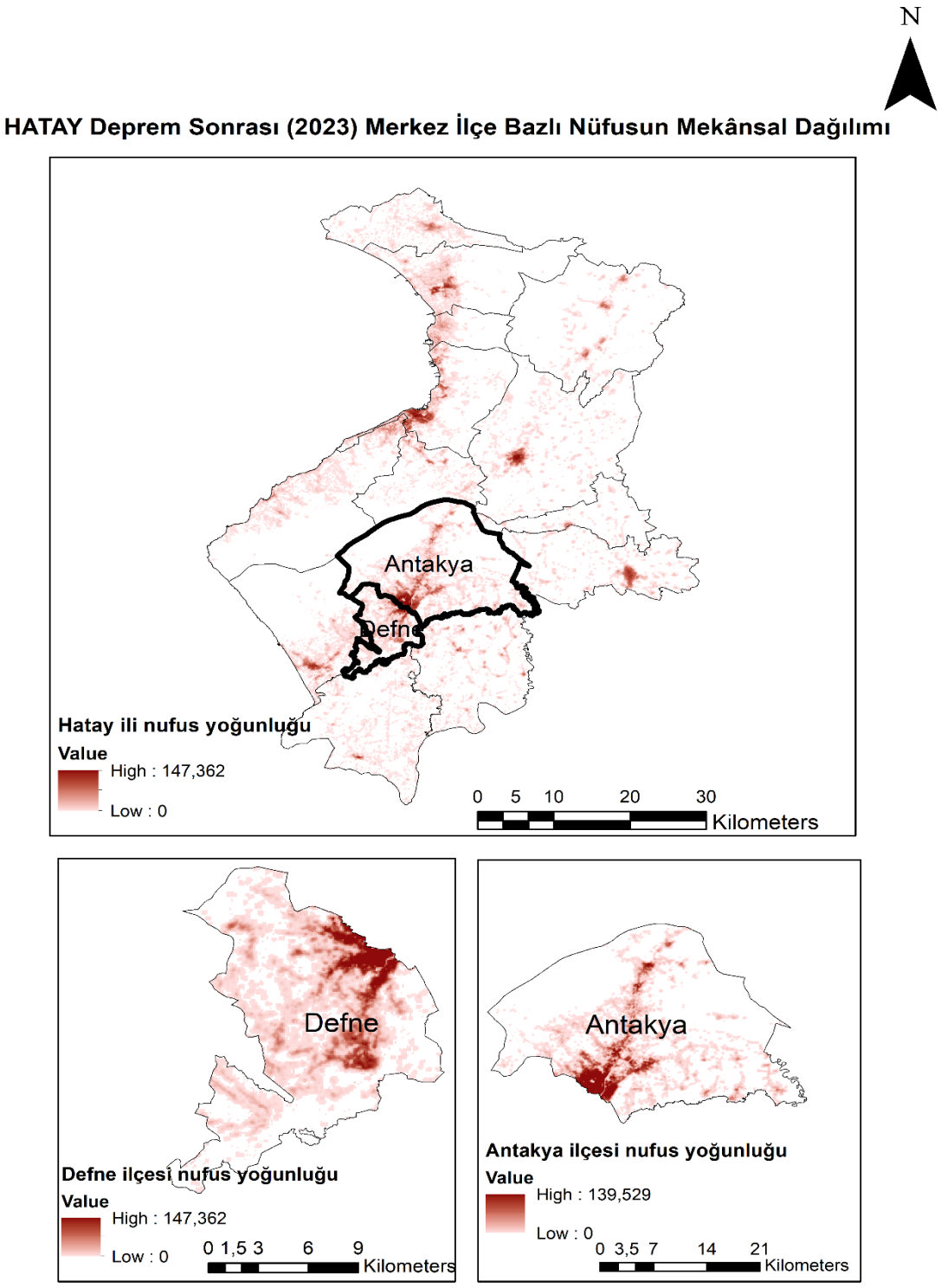
Görsel 3. Kilis ilinde nüfus yoğunluğunun mekânsal dağılımı (2023 yılı)

Hatay ili ise Akdeniz Bölgesi'nin doğusunda yer alan, yüksek nüfuslu ve çok merkezli yerleşim yapısına sahip olup, 6 Şubat 2023 depremlerinden en ağır biçimde etkilenen illerden biridir. Antakya, Defne ve İskenderun gibi merkezlerde yoğunlaşan yerleşim alanları, deprem sonrası süreçte ciddi fiziksel hasar ve yüksek düzeyde yerinden edilme yaşamıştır. WorldPop 2022 verilerine göre Hatay'ın olarak hesaplanmıştır. Hatay ilinde deprem öncesi nüfus yoğunluğunun mekânsal dağılımı Görsel 4'te gösterilmektedir. Bu harita, özellikle Antakya ve Defne çevresinde yoğunlaşan yüksek nüfus yoğunluğu çekirdeklerini açık biçimde ortaya koymaktadır. İl genelinde nüfusun kıyı ve merkez ilçelerde yoğunlaştığı, iç kesimlerde ise daha seyrek bir dağılım sergilediği görülmektedir (Görsel 4). Deprem sonrası döneme ait nüfus yoğunluğu dağılımı ise Görsel 5'te sunulmaktadır. 2023 yılına ait bu harita, Hatay'da yaşanan ağır yıkıma rağmen nüfus yoğunluğu çekirdeklerinin tamamen ortadan kalkmadığını; aksine belirli merkezlerde yeniden yoğunlaşma ve geri dönüş eğilimlerinin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgu, deprem sonrası nüfus hareketlerinin yalnızca kalıcı bir dağılma

süreci olarak değil, aynı zamanda geri dönüşleri de içeren dinamik bir süreç olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



Görsel 4. Hatay ilinde nüfus yoğunluğunun mekânsal dağılımı (2022)



Görsel 5. Hatay ilinde nüfus yoğunluğunun mekânsal dağılımı (2023)

5.1. Deprem Öncesi ve Sonrası Nüfus Yoğunluğunun Mekânsal Değişimi

WorldPop yüksek çözünürlüklü nüfus verileri kullanılarak gerçekleştirilen CBS analizleri, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında Kilis ve Hatay illerinde nüfus yoğunluğunun mekânsal dağılımında farklılaşan örüntüler ortaya koymaktadır. Deprem öncesi (2022) ve deprem sonrası (2023) verilerin karşılaştırılması, her iki ilde de maksimum nüfus yoğunluğu değerlerinde sınırlı ancak pozitif yönlü değişimler yaşandığını göstermektedir. Kilis ilinde ilçe bazlı

analizler, Polateli, Musabeyli, Elbeyli ve Merkez ilçelerde maksimum nüfus yoğunluğu değerlerinde %0,16 ile %0,28 arasında değişen artışlar olduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 1). Bu artışlar mutlak değerler açısından sınırlı görünmekle birlikte, Kilis'in depremden etkilenen 11 il arasında nüfus bakımından en küçük il olması nedeniyle, söz konusu değişimler oransal olarak anlamlı bir demografik etkiye işaret etmektedir. Bu bulgu, Kilis'te deprem sonrası dönemde nüfusun mekânsal dağılımında belirgin bir çözülmeden ziyade sürekliliğin baskın olduğunu göstermektedir. Hatay ilinde ise merkez ilçeler olan Antakya ve Defne'de maksimum nüfus yoğunluğu değerlerinde sırasıyla %0,17 ve %0,20 oranında artış tespit edilmiştir. Depremden ağır biçimde etkilenmiş olmasına rağmen Hatay'da nüfus yoğunluğu "hotspot"larının tamamen ortadan kalkmadığı, aksine belirli alanlarda kısmen korunarak yeniden yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, deprem sonrası nüfus hareketlerinin yalnızca dağılma yönlü değil, aynı zamanda geri dönüşleri de içeren karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 1: İlçe bazında nüfus yoğunluğu (%) değişimleri

İlçe	2022 Maks. Nüfus Yoğunluğu	2023 Maks. Nüfus Yoğunluğu	Değişim (%)
Polateli	26,176	26,248	+0,28
Musabeyli	47,000	47,130	+0,28
Kilis Merkez	131,089	131,399	+0,24
Elbeyli	38,450	38,511	+0,16
Hatay (Genel)	147,072	147,362	+0,20
Defne	147,072	147,362	+0,20
Antakya	139,297	139,529	+0,17

5.2. Yerinden Edilmiş Nüfus ve Mekânsal Yoğunluk İlişkisi

Deprem sonrası yerinden edilmiş nüfus verileri ile WorldPop–CBS analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, nüfus hareketlerinin tek yönlü ve kalıcı bir göçten ziyade çok aşamalı ve dinamik bir süreç izlediği anlaşılmaktadır. Yerinden edilme oranları incelendiğinde Adıyaman (%46,70), Kahramanmaraş (%38,38) ve Hatay (%37,90) illerinin en yüksek oranlara sahip olduğu; Kilis'te ise yerinden edilme oranının %5,81 olarak hesaplandığı görülmektedir (Düzenli, 2024; AFAD, 2023d). Hatay'da yaklaşık 774 bin kişinin yerinden edilmiş olması, ilin demografik yapısında ciddi bir kırılmaya işaret etmektedir. Buna karşın WorldPop verilerinde maksimum nüfus yoğunluğu değerlerinin artış göstermesi, deprem sonrası nüfusun tamamen dağılmadığını; aksine belirli merkezlerde geri dönüş ve yeniden yoğunlaşma eğilimlerinin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgu, yüksek yerinden edilme oranlarının her durumda kalıcı nüfus kaybı anlamına gelmediğini ortaya koymaktadır. Kilis örneğinde ise yerinden edilen nüfus sayısı görece düşük olmakla birlikte, ilin küçük nüfus yapısı nedeniyle bu hareketler nüfus yoğunluğu haritalarında daha belirgin biçimde yansımıştır. Sınırlı sayısal

hareketlerin dahi mekânsal yoğunluk göstergelerinde görünür hâle gelmesi, küçük ölçekli illerin afet sonrası demografik açıdan daha kırılgan ve duyarlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Bu bulgular, deprem sonrası nüfus analizlerinde yalnızca mutlak yerinden edilme sayılarının değil, oransal değerler ve mekânsal yoğunluk değişimlerinin birlikte değerlendirilmesinin gerekliliğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

6.TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen bulgular, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında nüfusun mekânsal dağılımında yaşanan değişimlerin, iller arasında tek tip bir örüntü sergilemediğini ve bu farklılaşmanın büyük ölçüde fiziksel yıkım düzeyi, yerel ekonomik yapı ve arazi kullanım özellikleriyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. WorldPop–CBS analizleri, Kilis ve Hatay illerinde deprem sonrası nüfus dinamiklerinin farklı yönlerde ve farklı ölçeklerde şekillendiğini göstermektedir.

Kilis ilinde deprem öncesi ve sonrası döneme ait nüfus yoğunluğu haritalarının karşılaştırılması, nüfusun merkez ilçe ağırlıklı mekânsal örüntüsünün büyük ölçüde korunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, Kilis'in depremin ana kırılma alanlarının dışında yer alması ve yapı hasarının sınırlı düzeyde kalmasıyla ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte, Kilis'te deprem sonrası dönemde tarımsal alan kullanımının arttığını ortaya koyan arazi kullanım çalışmaları (Yağcı & Gümüş, 2025), nüfusun kırsal alanlarla olan bağını sürdürdüğünü ve ekonomik faaliyetlerin mekânsal süreklilik gösterdiğini düşündürmektedir. Bu bağlamda Kilis'te gözlenen nüfus örüntüsü, yalnızca demografik değil, aynı zamanda arazi kullanımına dayalı üretim ilişkilerinin sürekliliğiyle de açıklanabilir.

Hatay ili ise depremden ağır biçimde etkilenmiş olmasına rağmen, nüfus yoğunluğu çekirdeklerinin tamamen ortadan kalkmadığı bir örnek sunmaktadır. AFAD verilerine göre Hatay'da yaklaşık 774.000 kişinin yerinden edilmiş olması, demografik kırılmanın nicel boyutunu açık biçimde ortaya koymaktadır (AFAD, 2023d). Buna karşın WorldPop–CBS analizlerinde belirli merkezlerde nüfus yoğunluğunun korunması, deprem sonrası nüfus hareketlerinin yalnızca kalıcı göç süreçlerinden ibaret olmadığını; geri dönüşler, geçici yerleşimler ve mekânsal yeniden yoğunlaşmaların da etkili olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Hatay'da deprem sonrası hızlı kentsel genişleme ve yeniden yapılaşma eğilimlerini ortaya koyan arazi kullanım çalışmalarıyla da örtüşmektedir (Yağcı & Gümüş, 2025).Bu çerçevede, yerinden edilme verileri ile nüfus yoğunluğu ve arazi kullanımındaki değişimlerin birlikte değerlendirilmesi, deprem sonrası nüfus hareketlerinin dinamik, çok aşamalı ve mekânsal olarak yeniden örgütlenen bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Nüfus ve arazi kullanım verilerinin entegrasyonu, afet sonrası süreçlerin yalnızca demografik kayıp veya kazanç üzerinden değil, mekânsal işlevsellik ve ekonomik süreklilik bağlamında da ele alınması gerektiğini göstermektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında Kilis ve Hatay illerinde nüfusun mekânsal dağılımını, WorldPop yüksek çözünürlüklü nüfus verileri ve CBS tabanlı analizler aracılığıyla incelemiştir. Bulgular, deprem sonrası nüfus değişimlerinin iller arasında farklı mekânsal tepkiler ürettiğini göstermektedir.

Kilis'te nüfusun mekânsal dağılımı büyük ölçüde korunmuş; Hatay'da ise yüksek yerinden edilme oranlarına rağmen belirli merkezlerde nüfus yoğunluğu çekirdeklerinin devam ettiği görülmüştür. Bu durum, afet sonrası nüfus değerlendirmelerinde yalnızca yerinden edilme sayılarının değil, mekânsal yoğunluk ve süreklilik göstergelerinin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, afet sonrası nüfus planlaması ve arazi yönetimi süreçlerinin, tek tip müdahaleler yerine yerel koşullara duyarlı ve mekânsal dinamikleri dikkate alan yaklaşımlar temelinde geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, yüksek çözünürlüklü mekânsal nüfus verileri ile CBS tabanlı analizlerin, afet sonrası demografik süreçlerin daha doğru ve bütüncül biçimde anlaşılmasına katkı sunduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. AFAD, 2023d. *2023 Yılında Deprem Bölgesinde Yerinden Edilmiş Tahmini Nüfus*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

2. Ayık, U., Bilim, Z. O. ve Durmuş, B. S., 2024. Aftermath of displacement processes induced by the 6 February 2023 earthquakes in Turkey, *Planlama Dergisi*, (Baskıda).

3. Düzenli, F., 2024. 6 Şubat Depremleri Sonrasında Gerçekleşen İç Göç Hareketlerinin Analizi, *Muhakeme Dergisi*, 7(1), 56–82.

4. İncili, Ö. F., 2020. Kilis Kent Nüfusunun Coğrafi Analizi, *Turkish Studies – Social Sciences*, 15(3), 1231–1248.

5. OECD, 2023. *The Territorial Impact of the 2023 Earthquakes in Türkiye*, OECD Publishing, Paris

6. Tatem, A. J., 2017. WorldPop, Open Data for Spatial Demography, *Scientific Data*, 4(1), 1–4.

7. Wang, X., Meng, X. ve Long, Y., 2022. Projecting 1 km-Grid Population Distributions from 2020 to 2100 Globally under Shared Socioeconomic Pathways, *Scientific Data*, 9(1), 563.

8. WorldPop, 2023. *Global High Resolution Population Demography Data*, University of Southampton.http://www.worldpop.org (Erişim tarihi: 15.05.2024)

9. Yağcı, C. ve Gümüş, M. G., 2025. Assessment of Land Use/Land Cover Changes Following the 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes Using Sentinel-2 Imagery, *NÖHÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi / NOHU Journal of Engineering Sciences*, 14(2), 775–790.

AMSTERDAM SCHIPHOL HAVALİMANI VE ANKARA ESENBOĞA HAVALİMANI ÇEVRESİNİN KENTSEL GELİŞİMİNİN UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA ZAMANSAL ANALİZİ

Kübra BAŞ YOLCU

Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü

kubrabas555@gmail.com – 0000-0002-4291-2687

Dr. Öğretim Üyesi Aycan Murat MARANGOZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

aycanmarangoz@beun.edu.tr – 0000-0003-4409-6000

ÖZET

Havalimanları, bulundukları bölgelerin ekonomik, sosyal ve çevresel dinamikleri üzerinde büyük etkilere sahiptir ve doğrudan/dolaylı istihdam sağlayarak bölgesel kalkınmayı destekler. Özellikle büyük havalimanları, çevrelerinde güçlü şehirleşme dinamikleri yaratarak kentsel gelişim süreçlerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Çalışmalar, havalimanlarının, ulaşım altyapısı ötesinde, kentsel gelişimi şekillendiren temel unsurlar arasında yer aldığını göstermektedir. Bu çalışma, Amsterdam Schiphol Havalimanı'nın Amsterdam'daki ve Ankara Esenboğa Havalimanı'nın Ankara'daki şehirleşme dinamiklerine yıllar içerisindeki etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. 1995, 2005, 2015 ve 2025 yıllarına ait çok zamanlı Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri kullanılarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemleriyle zamansal analizler yapılmıştır. Metodoloji kapsamında, arazi örtüsü/kullanımı haritalarının üretilmesi için, Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), Normalleştirilmiş Fark Yapılaşma İndeksi (NDBI) ve Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI) gibi indeksler kullanılmıştır. Elde edilen nicel veriler aracılığıyla, iki test alanının şehirleşmedeki orantısal değişimleri detaylandırılarak, havalimanı kurulum ve gelişiminin söz konusu şehirlere olan etkileri ortaya konulmuştur. Çalışma, kentsel planlama ve havalimanı geliştirme stratejileri için önemli konumsal bilgiler sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Amsterdam Schiphol Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı, Şehirleşme, Arazi Örtüsü/Kullanımı Haritası, Zamansal Analiz, Uzaktan Algılama (UA), Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), ArcGIS.

1. GİRİŞ

Havalimanları, modern şehirlerin vazgeçilmez unsurları olarak kritik rol oynar ve çevrelerinde yoğun şehirleşme dinamiklerini tetikler. Bu dinamikler, ulaşım altyapısı, konut yerleşimleri, ticaret merkezleri ve ekonomik büyüme ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla her ulaşım faaliyeti, başlangıç noktası, takip edilen güzergâh ve varılan yer bakımından mekânda değişiklikler yapar (Avcı, 2005). İlk etapta ortaya çıkan bu etkiyi bir diğeri takip eder ki o da en yakın yerleşmelerden havalimanı alanlarına doğru gelişen konut, iş ve ticaret alanlarıdır. Havalimanı bölgesindeki ulusal ve uluslararası hareketlilik bu alanların çok yakınlarına kadar iş ve konut alanlarının sokulmasına neden olur (Özür, 2018). Bu çalışma, Amsterdam Schiphol Havalimanı ve Ankara Esenboğa Havalimanı örnekleri üzerinden havalimanlarının şehirleşmeye olan etkilerini incelemektedir. Schiphol, 1916'da askeri amaçla kurulmuş ve 1920'de sivil uçuşlara açılmış fakat 1. ve 2. dünya savaşlarındaki yıkımlar nedeniyle asıl potansiyeline 1945 sonrasında ulaşmış bir havalimanı olarak, Avrupa'nın en yoğun lojistik merkezlerinden biri konumundadır. Esenboğa ise 1955'te sivil kullanıma açılmış olup, Ankara'nın başkent statüsüyle entegre bir büyüme sergilemiştir. Her iki havalimanı da uluslararası ulaşım merkezleri olmaları, altyapı gelişimine katkıları, ulaşım ağlarıyla bağlantıları, ekonomik katkı ve sürdürülebilirlik çabaları gibi ortak özellikler paylaşmaktadır. Schiphol uzun yıllardır planlı şehirleşmeye öncülük ederken, Esenboğa çevresi hızlı ve kısmen plansız büyüme gösterir. Bu çalışma, havalimanları çevresindeki şehirleşme dinamiklerini zaman içindeki değişimleriyle karşılaştırmaktadır. Ayrıca ülkelerin yerleşim politikalarının bu süreçteki rolünü değerlendirmektedir. Katı planlama kurallarına sahip Hollanda'da Schiphol Havalimanı'nın daha kontrollü bir büyüme gösterdiği; buna karşılık esnek planlama politikalarına sahip Türkiye'de Esenboğa Havalimanı'nın hızlı ancak potansiyel olarak sürdürülebilir olmayan şehirleşmeye yol açtığı vurgulanmaktadır. Literatürde, havalimanlarının özellikle ticari gelirlerin çeşitlenmesi yoluyla ekonomik büyümeyi hızlandırdığı ve çevredeki arazi kullanımını doğal bitki örtüsü ve tarım alanlarından kentsel yapılaşmaya doğru önemli ölçüde dönüştürdüğü belirtilmektedir (Akça, 2018; Çopur, 2023). Bu çalışma, 1995-2025 arası Landsat uydu görüntülerini kullanarak arazi kullanım değişimlerini (kentsel büyüme, yeşil alan kaybı) zamansal olarak analiz etmektedir. NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi), NDWI (Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi) ve NDBI (Normalleştirilmiş Fark Yapılaşma İndeksi) indeksleriyle desteklenen bu çalışmada, şehir planlaması ve ulaşım politikalarına somut öneriler sunulmuştur.

2. UYGULAMALAR

Havalimanlarının şehirleşme etkilerini analiz etmek için kullanılan veri kaynakları ve analiz teknikleri bu bölümde detaylandırılmıştır. Çalışmada, 1995, 2005, 2015 ve 2025 yıllarına ait uydu görüntülerini temel alarak konumsal ve zamansal değerlendirmeler yapılmıştır. Veri kaynakları, Landsat 5 TM (1995-2005) ve Landsat 8 OLI/TIRS (2015-2025) görüntüleri olup, bunlar CBS yazılımlarıyla işlenmiştir.

2.1. Veri Toplama ve Çalışma Alanı

Analiz için, Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS görüntüleri USGS Earth Explorer üzerinden indirilmiştir. Çalışma alanı olarak Türkiye'nin başkenti Ankara ve Hollanda'nın başkenti Amsterdam'ın havalimanlarını merkeze alan 400 km^2'lik bölgeler belirlenmiştir.



Görsel 1. Türkiye Çalışma Alanı (Esenboğa Havalimanı / Ankara), 2025



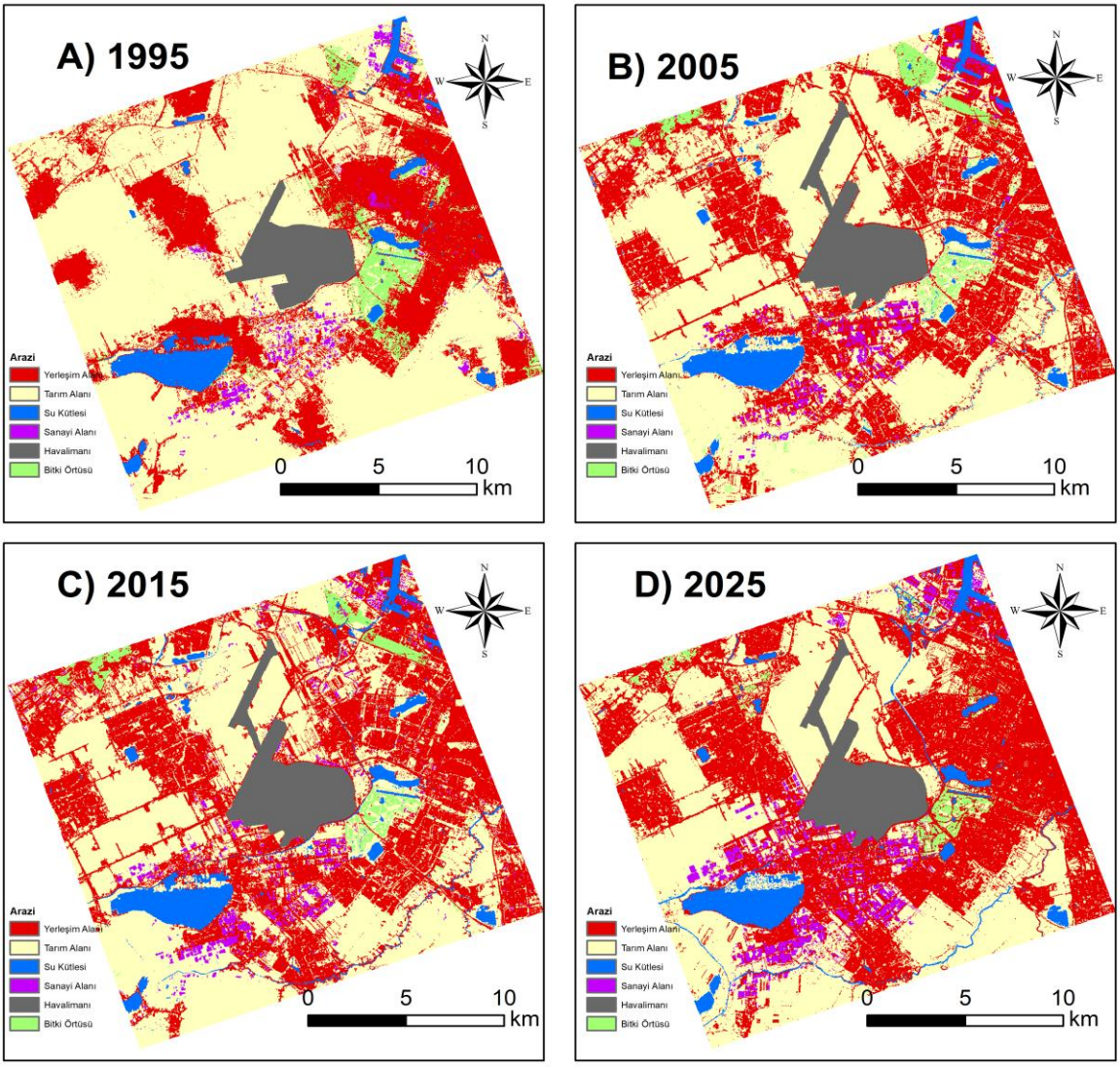
Görsel 2. Hollanda Çalışma Alanı (Schiphol Havalimanı / Amsterdam), 2025

2.2. Arazi Kullanım Sınıflandırması ve Değişim Tespiti

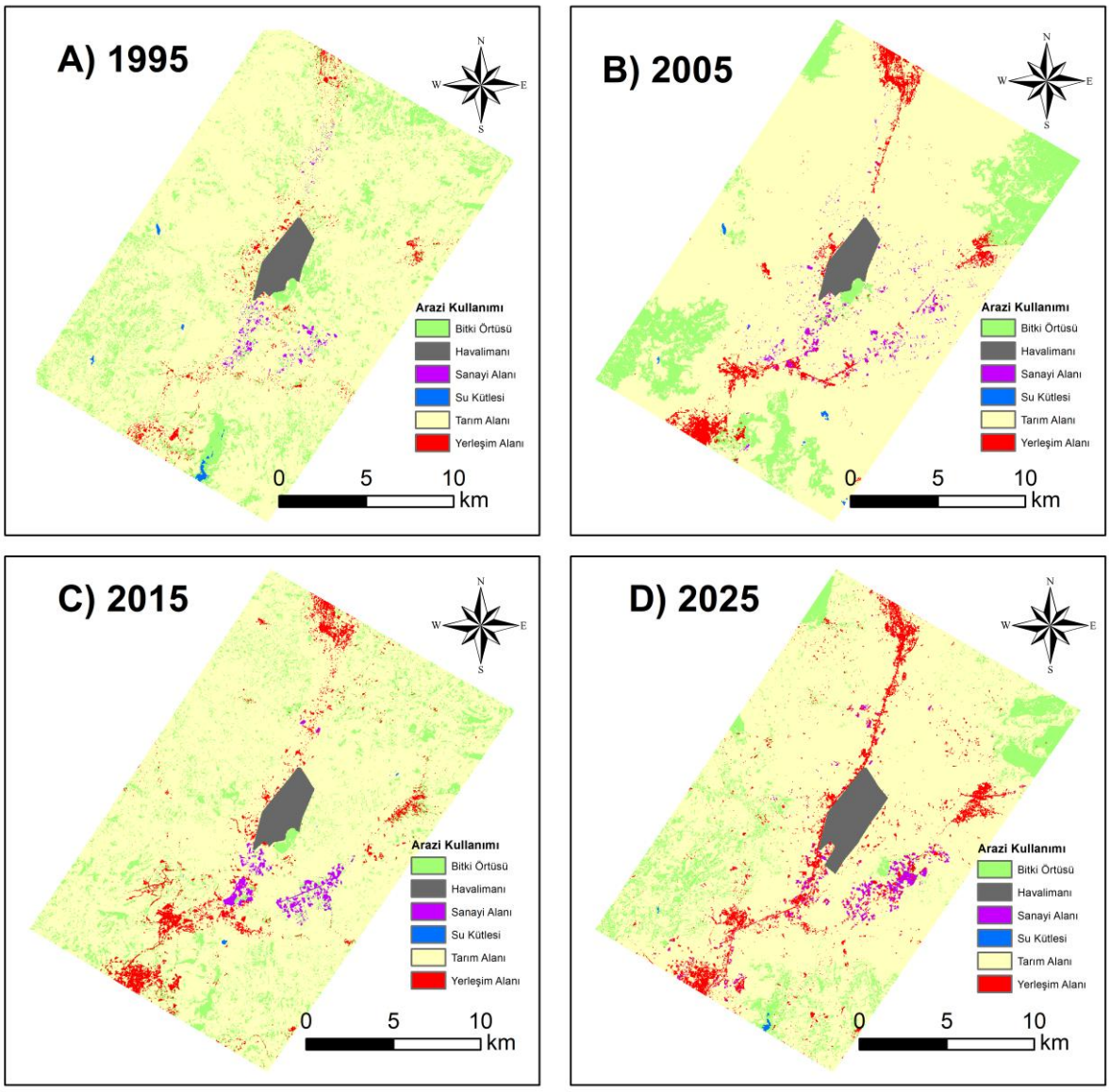
Sınıflandırmalar, kontrollü yöntemlerle gerçekleştirilmiş olup kategoriler havalimanı, yerleşim alanı, tarım alanı, sanayi alanı, su kütlesi ve bitki örtüsü olarak belirlenmiştir. Doğruluk analizi (Confusion Matrix) ile kappa katsayısı >0.80 elde edilmiştir. 1995, 2005, 2015 ve 2025 yılları için arazi örtüsü/kullanımı haritaları oluşturulmuştur.

2.3. Karşılaştırmalı Bulgular

Schiphol çevresinde yerleşim, lojistik ve ofis kümelenmelerinin planlı geliştiği (Görsel 3.); 1995-2025 yılları arasında yerleşim alanının % 70,2 oranında arttığı ve yeşil alan kaybıyla dengelendiği tespit edilmiştir. Esenboğa çevresinde ise plansız konut ve sanayi yayılması gözlemlenmiş olup(Görsel 4.); 1995-2025 yılları arasında yerleşim alanının %141,2 arttığı tespit edilmiştir. Böylece havalimanlarının ekonomik katkıları (istihdam, turizm) ve olumsuz etkileri (tarım alanı kaybı) nicelleştirilmiştir.



Görsel 3. Schiphol Havalimanı Arazi Örtüsü/Kullanımı Haritası Zamansal Gösterimi, 2025



Görsel 4. Esenboğa Havalimanı Arazi Örtüsü/Kullanımı Haritası Zamansal Gösterimi, 2025

3. BULGULAR

Analiz sonuçları, her iki havalimanının şehirleşme üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir. Elde edilen veriler, Schiphol Havalimanının daha sürdürülebilir olduğunu, yeşil alan kaybının Esenboğa Havalimanı çevresine göre orantısal olarak daha düşük olduğunu, ekonomik katkısının ise yüksek olduğunu; Esenboğa Havalimanı çevresinde ise hızlı şehirleşmenin tarım alanlarında kayıp ve çevresel baskı yarattığını kanıtlamıştır. Ayrıca Schiphol Havalimanında, tren bağlantıları benzeri ulaşım entegrasyonu sayesinde dengeli büyümenin sağlandığı, Esenboğa Havalimanında ise hızlı kentsel yayılma, altyapı eksikliği ve yeşil alan kaybı nedeniyle sürdürülebilirliğin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Schiphol için yerleşim alanlarında 1995–2025 yılları arasında %27,8'den %40,2'ye bir artış gözlenirken, Esenboğa'da bu oran %4,7'den %19,1'e yükselmiştir. Bu durum, Schiphol'un daha yüksek bir başlangıç yerleşim yoğunluğuna sahip olmasına rağmen görece kontrollü ve kademeli bir büyüme sergilediğini (toplam artış %12,4; yıllık ortalama ≈ %0,4), Esenboğa'nın ise daha düşük başlangıç değerine rağmen hızlı ve sıçramalı bir mekânsal genişleme yaşadığını göstermektedir (toplam artış %14,4; yıllık ortalama ≈ %0,5).

Arazi kullanım değişimleri incelendiğinde, Schiphol çevresinde lojistik ve ticaret alanlarının arttığı, konut alanlarının ise planlı entegrasyon politikalarıyla desteklendiği görülmektedir. Turizm fonksiyonları, havalimanının küresel bağlantılılığıyla paralel biçimde güçlenmiştir. Esenboğa çevresinde ise sanayi alanlarının özellikle Çubuk, Akyurt ve Pursaklar ilçeleri doğrultusunda genişlediği; buna karşılık tarım alanlarının azaldığı tespit edilmiştir. Bu süreç, doğal ortam üzerindeki baskıyı artırarak çevresel bozulmaları tetiklemiştir.

Değerlendirmede her iki havalimanı çevresinde ekonomik büyüme ve altyapı entegrasyonu açısından benzerlikler görülürken, planlama yaklaşımlarında belirgin farklar ortaya çıkmaktadır. Schiphol'un aerotropolis modeli sürdürülebilirlik odaklı uygulamalar ve yeşil projelerle dengelenmeye çalışılırken, Esenboğa çevresine istihdam artışı sağlamış; ancak beraberinde çevresel riskler de üretmiştir.

Planlama ve yapım aşamasında şehir dışına konumlandırılan havalimanları zaman içerisinde şehirlerin artan nüfusu ve plansız gelişmeleri nedeniyle şehir merkezi sınırları içinde kalmaktadır. Özellikle nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde yapılaşmanın dikey büyümesi ile birlikte, havalimanlarının çevresinde emniyetli sahaların oluşturulması zorlaşmaktadır (Bayrak, 2021). Sonuç olarak, ulusal politikaların şehirleşme hızını ve yönünü belirlemede kritik rol oynadığı; Hollanda'da büyümenin sınırlandırıldığı, Türkiye'de ise hızlı gelişimin ön plana çıktığı söylenebilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde havayoluna olan talebin giderek artması yoğun bir hava trafiğini beraberinde getirmektedir. Hava trafiğindeki artışa bağlı olarak yeni havalimanları yapılmakta ve mevcut havalimanları genişletilmektedir. Havalimanları, hava trafiğinin kesişim noktası olmakla birlikte toplumların ekonomik ve sosyal anlamda gelişmişliklerinin de göstergesidir (Dursun,2024).

Bu çalışma ile, havalimanlarının şehirleşme üzerindeki etkisini zamansal ve mekânsal olarak karşılaştırmalı analiz ederek literatüre özgün katkı sunulması planlanmıştır. Schiphol, planlı büyüme ile ekonomik kalkınmayı entegre ederken, Esenboğa hızlı ancak potansiyel sürdürülebilirlik sorunları taşıyan bir dönüşüm sergilemiştir.

Gelecek çalışmalarda daha geniş zaman aralıklarında (2035'e kadar tahminler) analizler yapılabilir ve böylece arazi kullanım tahmin modelleri oluşturulabilir. Ayrıca, iklim değişikliği etkileri şehirleşme ile entegre edilerek sürdürülebilirlik modelleri oluşturulabilir. Sonuç olarak,

havalimanları kentlerin büyümesinde büyük rol oynar ve sürdürülebilir planlamayla çevresel ve sosyal denge sağlayabilir. Bu çalışma, farklı planlama yaklaşımlarını karşılaştırarak politika yapıcılara rehberlik edebilir ve sürdürülebilir aerotropolis/airport city modellerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

1. Akca, M. (2020). Hava Limani Şehri Modeli. International Journal of Management and Administration, 4(7), 178-188.
2. Avcı, S. (2005). *Ulaşım Coğrafyası Açısından Türkiye'nin Ulaşım Politikaları ve Coğrafi Sonuçları.* Ulusal Coğrafya Kongresi 29-30 Eylül 2005 Bildiriler Kitabı: 87-96.
3. Bayrak A., *Havalimanı Etrafında Emniyetli Sahaların Oluşturulması İçin Mekansal Analizler: İstanbul Havalimanı Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul,2021.
4. Çopur, T., Yıldırım, Ü. B., & Durmaz, V. (2023). Şehir Havalimanı Modeli ile Değişen Gelir Yapılarının İçerik Analizi Yöntemiyle İncelenmesi. Kent Akademisi, 16(1), 612-631.
5. Dursun, Ö. O., & Aksoy, C. (2024). Havaalanlarinin Çevresel Etkileri. The Journal of Academic Social Science, 53(53), 361-371.
6. Özür, N. (2018). Türkiye'de havalimanlarının kuruluş yerlerinin sürdürülebilir arazi kullanımı bakımından değerlendirilmesi. Türk Coğrafya Dergisi, (71), 15-25.
7. https://earthexplorer.usgs.gov/ (Erişim tarihi: 14.08.2025)

KENTSEL YEŞİLLENDİRME YAKLAŞIMLARINDA DİKEY BAHÇELER: WEB OF SCİENCE TABANLI BİBLİYOMETRİK BİR ARAŞTIRMA

Öğr. Gör. Dr. İlhami AY

Hakkari Üniversitesi / Çölemerik Meslek Yüksekokulu

ilhamiay@hakkari.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-3506-3234

Doç. Dr. Şefika ERGİN

Dicle Üniversitesi / Mimarlık Fakültesi

erginsefika@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-7287-7886

ÖZET

Dikey bahçeler, kentsel alanlarda yeşil alan yetersizliği, çevresel bozulma ve iklim değişikliği gibi sorunlara çözüm sunan yenilikçi yeşil altyapı yaklaşımları arasında yer almaktadır. Binaların düşey yüzeylerinin yeşillendirilmesi yoluyla mikroklimatik koşulların iyileştirilmesi, hava kalitesinin artırılması ve kentsel yaşam kalitesinin desteklenmesi, dikey bahçelerin kent planlama ve çevresel tasarım çalışmalarındaki önemini giderek artırmaktadır. Buna karşın, dikey bahçeler konusundaki akademik çalışmaların literatürdeki gelişim sürecini ve araştırma eğilimlerini bütüncül biçimde ele alan değerlendirmeler sınırlıdır.

Bu bildirinin amacı, dikey bahçelerin kentsel yeşillendirme yaklaşımları içerisindeki akademik konumunu ve gelişim seyrini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda, Web of Science veri tabanında yer alan yayınlar temel alınarak alanın zamansal gelişimi, öne çıkan araştırma temaları, disiplinler, ülkeler ve yüksek etkiye sahip çalışmalar genel hatlarıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada, dikey bahçelerin özellikle sürdürülebilir kentleşme, çevresel performans, mimarlık ve peyzaj tasarımı gibi disiplinlerle güçlü bir ilişki içinde ele alındığı görülmektedir.

Elde edilen bulgular, dikey bahçelerin yalnızca estetik bir tasarım unsuru değil, aynı zamanda kentsel çevre sorunlarına yönelik çok boyutlu çözümler sunan önemli bir araştırma alanı haline geldiğini göstermektedir. Bu bildiri, dikey bahçeler konusundaki akademik eğilimleri ortaya koyarak gelecekte yapılacak kentsel yeşillendirme ve sürdürülebilir tasarım çalışmalarına literatür temelli bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Dikey bahçeler, Yeşil duvarlar, Kentsel yeşillendirme, Sürdürülebilirlik, Bibliyometrik analiz

1. GİRİŞ

Küresel ölçekte artan kentleşme, iklim değişikliği ve çevresel bozulma, kentlerin ekolojik dengesi ve insan sağlığı üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Özellikle yoğun yapılaşmaya sahip kentsel alanlarda yeşil alanların azalması; kentsel ısı adası etkisinin artması, hava kalitesinin düşmesi ve yaşam konforunun azalması gibi çok boyutlu sorunları beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, kentsel yeşil alanlar; ekosistem hizmetleri sunmaları, halk sağlığını desteklemeleri ve çevresel adalet açısından kritik bir rol üstlenmeleri nedeniyle sürdürülebilir kentleşme politikalarının temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Wolch, Byrne ve Newell, 2014). Ancak yatay yeşil alan üretiminin sınırlı olduğu yüksek yoğunluklu kent dokularında, alternatif yeşillendirme yaklaşımlarına duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Kentsel yeşillendirme stratejileri kapsamında geliştirilen yeşil altyapı uygulamaları; parklar, sokak ağaçları, yeşil çatılar ve dikey yeşillendirme sistemleri gibi farklı bileşenleri içermektedir. Literatürde, kentsel yeşillendirmenin özellikle kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, mikroklimatik koşulların iyileştirilmesi ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerin sınırlandırılması açısından önemli katkılar sunduğu ortaya konulmuştur (Bowler, Buyung-Ali, Knight ve Pullin, 2010). Bununla birlikte, yatay yeşil alanlara kıyasla daha az mekânsal gereksinim duyan dikey bahçeler ve yeşil duvar sistemleri, yoğun kent merkezlerinde uygulanabilirliği yüksek çözümler olarak öne çıkmaktadır.

Dikey bahçeler; bina cepheleri ve düşey yüzeylerin bitkilendirilmesi yoluyla, kentsel çevrede hem estetik hem de işlevsel faydalar sağlayan yeşil altyapı bileşenleridir. Çeşitli çalışmalarda, dikey yeşillendirme sistemlerinin yüzey sıcaklıklarını düşürdüğü, kentsel mikroklimayı iyileştirdiği ve bina ölçeğinde enerji performansına olumlu katkılar sunduğu belirtilmektedir. Özellikle yüksek yapı yoğunluğuna sahip kentlerde gerçekleştirilen uygulamalar, dikey bahçelerin yayaların termal konforunu artırmada ve kentsel yaşam kalitesini desteklemede etkili olduğunu göstermektedir (Ng, Chen, Wang ve Yuan, 2012).

Dikey bahçeler yalnızca termal konfor açısından değil, aynı zamanda hava kalitesinin iyileştirilmesi ve ekosistem hizmetlerinin güçlendirilmesi bakımından da önemli bir potansiyele sahiptir. Bitkisel yüzeylerin partikül madde tutma kapasitesi, kentsel hava kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlamakta; bu etki bitki türü, yaprak özellikleri ve yerleşim biçimine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Sæbø ve diğerleri, 2012). Yeşil duvar ve yeşil çatı sistemlerinin, uygun tasarım ilkeleriyle uygulandığında, açık yol ve sokak kanyonlarında hava kirliliğini azaltıcı bir rol oynayabildiği literatürde vurgulanmaktadır (Abhijith ve diğerleri, 2017). Bu yönüyle dikey bahçeler, kentsel yeşillendirme yaklaşımlarının çok işlevli bileşenleri arasında değerlendirilmektedir.

Literatürde dikey bahçeler ve dikey yeşillendirme sistemleri üzerine çok sayıda deneysel, uygulamalı ve modelleme temelli çalışma bulunmasına rağmen, bu çalışmaların zamansal gelişimini, disiplinler arası yayılımını ve akademik üretim yapısını bütüncül biçimde ele alan değerlendirmeler sınırlıdır. Çalışmalar çoğunlukla mikroklima, enerji verimliliği veya hava kalitesi gibi belirli bir tema etrafında yoğunlaşmakta; alanın genel eğilimleri ve araştırma odakları nicel göstergelerle sistematik olarak ortaya konulmamaktadır. Bu durum, dikey

bahçelerin kentsel yeşillendirme yaklaşımları içerisindeki akademik konumunun ve gelişim seyrinin literatür düzeyinde net biçimde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır.

Bibliyometrik analizler, belirli bir araştırma alanındaki bilimsel üretimin yapısını, gelişim sürecini ve eğilimlerini yayın ve atıf verilerine dayalı olarak incelemeye olanak tanıyan güçlü yöntemlerdir. Özellikle dikey bahçeler gibi mimarlık, çevre bilimleri, şehir planlama ve mühendislik disiplinlerinin kesişiminde yer alan konularda, bibliyometrik yaklaşımlar araştırma temalarının evrimini ve disiplinler arası etkileşimi ortaya koymak açısından önemli bir araç sunmaktadır. Bu tür analizler, gelecekte yapılacak çalışmalara yön verecek bütüncül bir literatür çerçevesi oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kentsel yeşillendirme yaklaşımları kapsamında dikey bahçeler konusundaki akademik literatürün gelişimini Web of Science veri tabanına dayalı bibliyometrik yöntemlerle incelemektir. Çalışma kapsamında, yayın ve atıf sayılarının yıllara göre dağılımı, öne çıkan araştırma temaları, etkin yazarlar, kurumlar, ülkeler ve yüksek etkiye sahip çalışmalar analiz edilerek alanın genel eğilimleri ortaya konulmuştur. Böylece, dikey bahçelerin kentsel yeşillendirme literatüründeki yeri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiş ve gelecekte yapılacak araştırmalar için literatür temelli bir referans çerçevesi sunulması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, kentsel yeşillendirme yaklaşımları kapsamında dikey bahçeler konusundaki akademik literatürün gelişimini ortaya koymak amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bibliyometri, belirli bir araştırma alanındaki bilimsel üretimin yapısını, gelişim sürecini ve eğilimlerini; yayın ve atıf verilerine dayalı nicel göstergeler aracılığıyla inceleyen disiplinler arası bir analiz yaklaşımıdır (Donthu, Kumar, Mukherjee, Pandey ve Lim, 2021; Mayr ve Scharnhorst, 2015). Bu yöntem, araştırma alanlarının zamansal gelişiminin, disiplinler arası dağılımının ve akademik etkinliğinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır(Ay, 2024; Ay ve Dal, 2024).

Araştırmanın veri seti, Web of Science (WoS) Core Collection veri tabanından elde edilmiştir. WoS, disiplinler arası akademik yayınları kapsaması, güvenilir atıf verileri sunması ve bibliyometrik analizlere olanak sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir. Veri toplama sürecinde, dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımlarını temsil eden yayınlara odaklanılmıştır (Bekler, Dal, Ay ve Bekler, 2025).

Bu kapsamda, WoS gelişmiş arama (advanced search) arayüzü kullanılarak aşağıdaki anahtar kelime grubu sorgulanmıştır:

> (“vertical garden*” OR “green wall*” OR “living wall*” OR “green façade*” OR “plant wall*” OR “vertical planting*” OR “urban greening*” OR “vertical greenery*”)

Anahtar kelimelerde yıldız (*) karakteri kullanılarak kavramların farklı yazım ve türevleri kapsanmıştır. Arama sonuçları, 2025 yılı henüz tamamlanmadığı için 2025 yılı ve 2026 yılına ait yayınlar hariç tutulacak şekilde filtrelenmiştir. Bu yaklaşım, analiz edilen veri setinin

tamamlanmış yayın döngülerini temsil etmesini ve atıf verilerinin daha sağlıklı değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Belirlenen arama kriterleri doğrultusunda elde edilen yayınlar, WoS'un sunduğu bibliyometrik analiz ve raporlama araçları kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, önceki bazı bibliyometrik araştırmalardan farklı olarak herhangi bir ağ analiz veya görselleştirme yazılımı (VOSviewer, CiteSpace vb.) kullanılmamış; analizler WoS platformu üzerinden sağlanan göstergelerle sınırlandırılmıştır. Bu tercih, çalışmanın betimleyici bir bibliyometrik çerçevede ele alınmasını hedeflemektedir.

Araştırma kapsamında aşağıdaki bibliyometrik göstergeler analiz edilmiştir:

- Yıllara göre yayın sayıları ve atıf dağılımları,
- Yayın türleri (makale, bildiri, derleme vb.),
- En etkin yazarlar,
- Web of Science kategorileri,
- En etkin kurumlar,
- Yayın dilleri,
- Ülkelere göre yayın dağılımı,
- En fazla atıf alan çalışmalar.

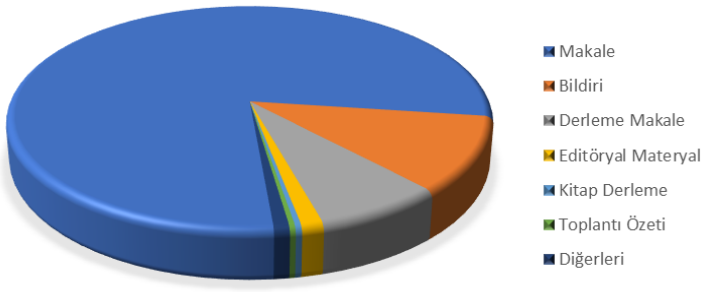
Bu göstergeler aracılığıyla, dikey bahçeler konusundaki akademik üretimin zamansal gelişimi, disiplinler arası yayılımı ve coğrafi dağılımı bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın temel sınırlılığı, analizlerin yalnızca Web of Science veri tabanı ile sınırlandırılmış olmasıdır. Scopus, Google Scholar ve diğer bibliyografik veri tabanları çalışma kapsamına dâhil edilmemiştir. Ayrıca, eş-oluşum ağları, atıf ağları ve anahtar kelime kümelenmeleri gibi ileri düzey bibliyometrik analizler gerçekleştirilmemiştir. Buna rağmen, WoS'un sunduğu kapsamlı yayın ve atıf verileri, dikey bahçeler konusundaki akademik eğilimlerin ortaya konulması açısından yeterli bir temel sağlamaktadır.

3. BULGULAR

Web of Science (WoS) veri tabanında, dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımlarında dikey yeşillendirme sistemlerini kapsayan anahtar kelime grubu ile yapılan tarama sonucunda toplam 3255 akademik çalışma tespit edilmiştir. İlgili literatürdeki ilk çalışma, Lipe ve Thomas (1980) tarafından yayımlanan "Effects of Onion Transplant Pruning and Orientation on Plant-Survival, Yield, and Size Distribution" başlıklı makaledir. Yayın türleri incelendiğinde, çalışmaların büyük çoğunluğunu makaleler (2555 adet) oluştururken; bunu bildiriler (357 adet) ve derleme makaleler (248 adet) izlemektedir. Diğer yayın türlerine ilişkin dağılım Görsel 1'de sunulmuştur.

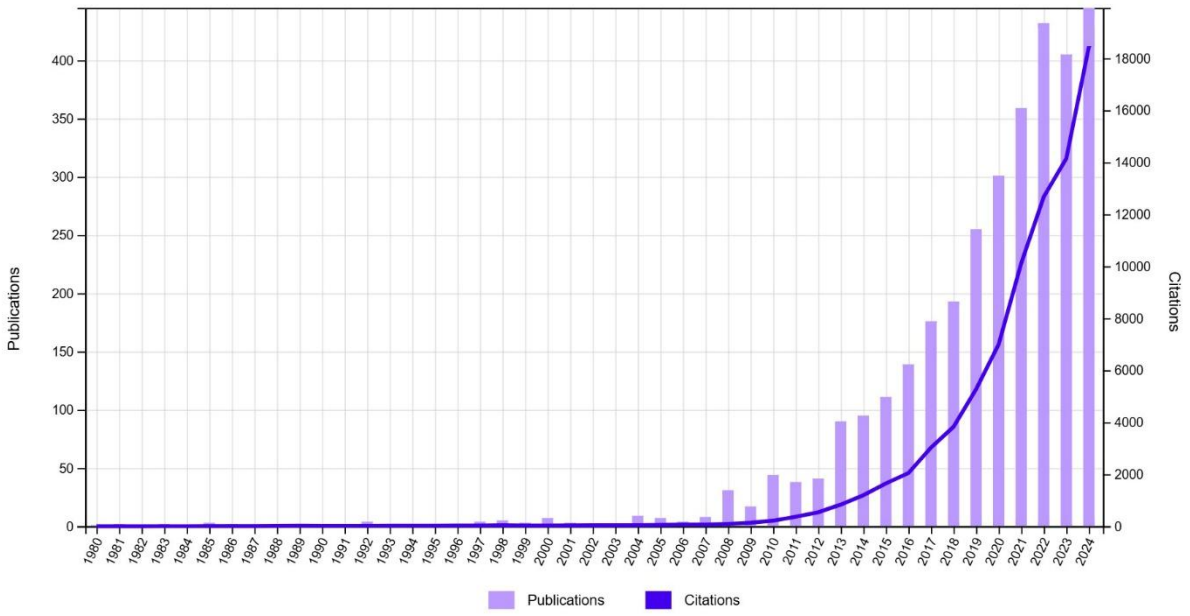
Yayın Türü	Sayısı



Makale	2555
Bildiri	357
Derleme Makale	248
Editöryal Materyal	42
Kitap Derleme	12
Toplantı Özeti	11
Diğerleri	30

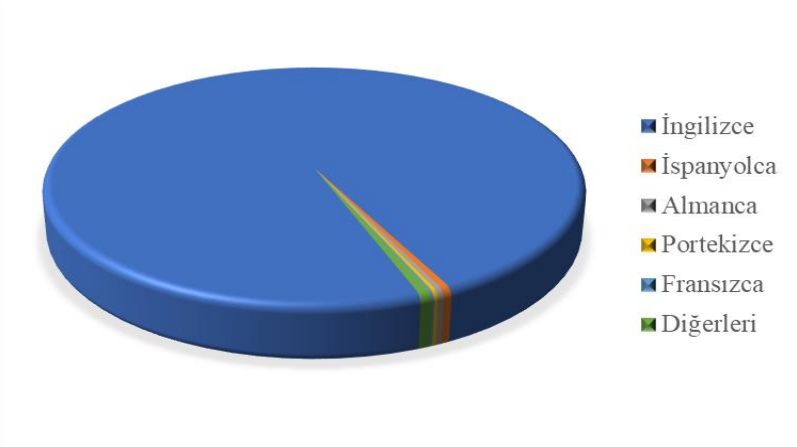
Görsel 1. Akademik yayınların türleri

Dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımları çalışmaları ile yazılan akademik çalışmalarının yıllara göre dağılımları ve aldıkları atıf sayıları Görsel 2'te gösterilmiştir. İlgili konuya ilişkin akademik yayınların yıllara göre dağılımı incelendiğinde, 1980–2000 yılları arasında sınırlı sayıda çalışmanın bulunduğu, bu dönemin daha çok öncü nitelikteki araştırmalarla temsil edildiği görülmektedir. 2005 yılı sonrasında yayın sayılarında kademeli bir artış gözlenmiş, asıl belirgin artış ise 2010 sonrası dönemde ortaya çıkmıştır. Özellikle 2015 yılından itibaren yayın sayılarının düzenli ve hızlı bir biçimde arttığı dikkat çekmektedir. Atıf sayıları da yayın eğilimleriyle paralel bir seyir izlemekte olup, 2015 sonrası dönemde belirgin bir artış göstermiştir. Son yıllarda atıf eğrisindeki keskin yükseliş, dikey bahçeler konusundaki çalışmaların akademik görünürlüğünün ve bilimsel etkisinin arttığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, dikey bahçelerin kentsel yeşillendirme yaklaşımları içerisinde son yıllarda giderek daha merkezi bir araştırma konusu haline geldiğini göstermektedir.



Görsel 2. Makale ve atıfların yıllara göre dağılımı

Web of Science veri tabanındaki yayınların dil dağılımı Görsel 3'te gösterilmektedir. Dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımları konusundaki akademik yayınların dil dağılımı incelendiğinde, İngilizcenin açık ara baskın olduğu görülmektedir. Toplam 3255 yayının 3197'si İngilizce olarak yayımlanmıştır. İngilizceyi, sınırlı sayıda olmak üzere İspanyolca, Almanca, Portekizce ve Fransızca yayınlar takip etmektedir. Diğer dillerde yayımlanan çalışmaların sayısı ise oldukça düşüktür. Bu durum, dikey bahçeler konusundaki bilimsel üretimin büyük ölçüde uluslararası akademik topluluğa hitap edecek şekilde İngilizce dilinde gerçekleştirildiğini ve alanın küresel ölçekte ele alındığını göstermektedir.



Yayın Dili	Sayısı
İngilizce	3197
İspanyolca	15
Almanca	11
Portekizce	7
Fransızca	5
Diğerleri	20

Görsel 3. Akademik yayınların dil dağılımı

WoS veri tabanındaki akademik yayınların kategorileri analiz edildiğinde, ilk 10 kategori Tablo 1'de gösterilmektedir. Dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımlarına ilişkin akademik yayınların Web of Science kategorilerine göre dağılımı incelendiğinde, çalışmaların ağırlıklı olarak çevresel ve kentsel odaklı disiplinlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Environmental Sciences kategorisi 957 yayın ile ilk sırada yer alırken, bunu Environmental Studies (728) ve Urban Studies (537) takip etmektedir. Bu durum, dikey bahçelerin çevresel sürdürülebilirlik ve kentsel çevre sorunları bağlamında ele alındığını göstermektedir.

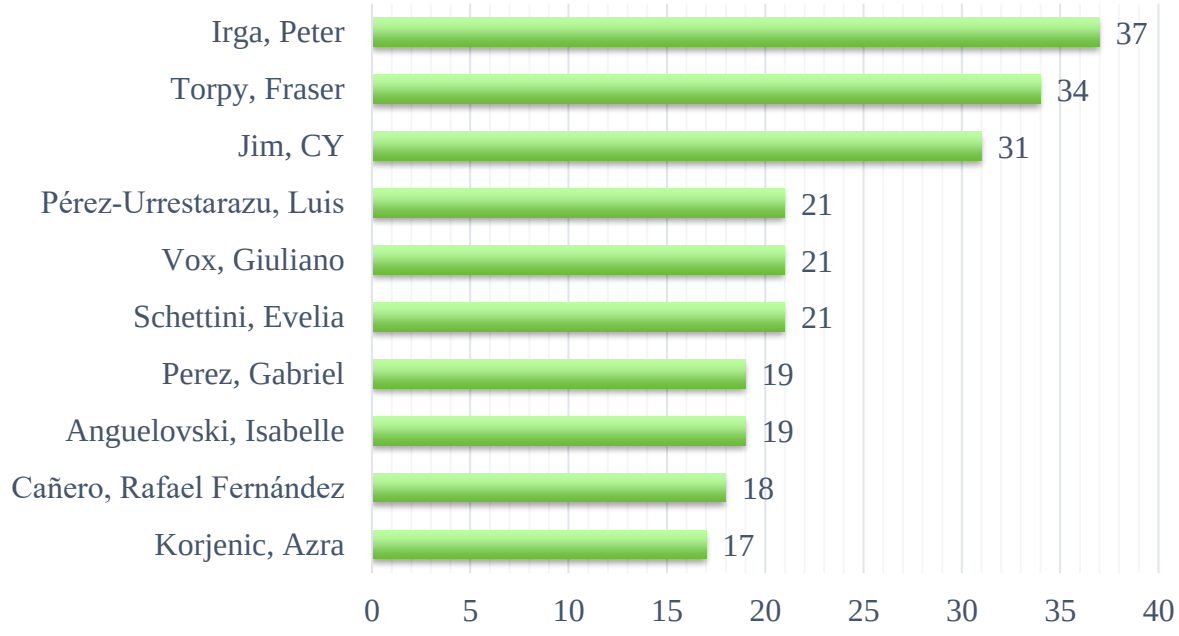
İlk 10 kategori içerisinde Construction & Building Technology (463) ile Engineering, Civil (411) kategorilerinin öne çıkması, dikey bahçelerin yalnızca ekolojik bir yaklaşım değil, aynı zamanda yapı teknolojileri ve mühendislik uygulamalarıyla doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Green & Sustainable Science & Technology (374), Plant Sciences (351) ve Forestry (315) kategorilerinin listede yer alması ise bitkisel bileşenler, yeşil altyapı ve sürdürülebilirlik temalarının alanın temel araştırma eksenlerini oluşturduğunu göstermektedir. Genel olarak kategori dağılımı, dikey bahçeler konusunun disiplinler arası bir yapıya sahip olduğunu ve çevre, mühendislik ve kent çalışmaları ekseninde geliştiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 1. İlgili konuya ilişkin akademik yayınların kategorileri

#	Yayın Kategorisi	Yayın Sayısı	Yüzde (%)	#	Yayın Kategorisi	Yayın Sayısı	Yüzde (%)
1	Çevre Bilimleri	957	29,4	6	Yeşil Sürdürülebilir Bilim Teknolojisi	374	11,5
2	Çevre Çalışmaları	728	22,4	7	Bitki Bilimleri	351	10,8
3	Kent Çalışmaları	537	16,5	8	Ormancılık	315	9,7
4	İnşaat Bina Teknolojisi	463	14,2	9	Çevre Mühendisliği	290	8,9
5	İnşaat Mühendisliği	411	12,6	10	Ekoloji	263	8,1

Web of Science veri tabanında ilgili konuda yayın yapan yazarlar Görsel 4'te gösterilmektedir. Dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımları alanında yayın sayısına göre en etkin yazarlar incelendiğinde, belirli araştırmacıların literatürde öne çıktığı görülmektedir. Irga, Peter 37 yayın ile en fazla akademik üretime sahip yazar konumunda yer alırken, onu 34 yayınla Torpy, Fraser ve 31 yayınla Jim, C.Y. takip etmektedir. Schettini, Evelia; Vox, Giuliano ve Pérez-Urrestarazu, Luis ise 21'er yayınla alandaki diğer öne çıkan araştırmacılar arasında bulunmaktadır.

Yayın sayıları bakımından üst sıralarda yer alan bu yazarların varlığı, dikey bahçeler konusundaki akademik üretimin belirli uzmanlık grupları ve araştırma ekipleri etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durum, alanın disiplinler arası niteliğine rağmen, çekirdek bir araştırmacı topluluğunun oluştuğuna işaret etmektedir.

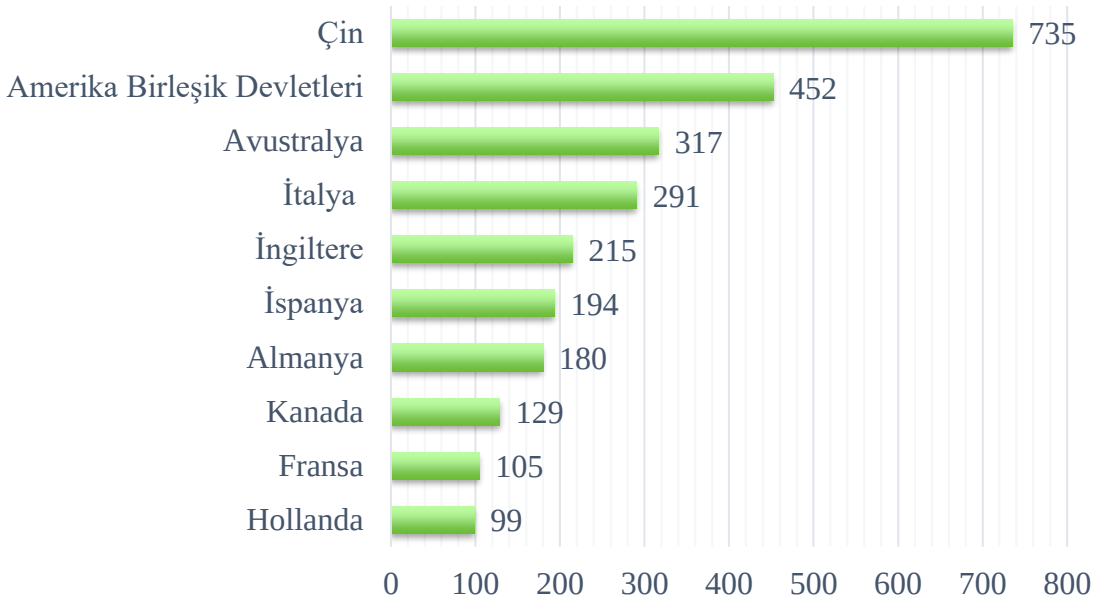


Görsel 4. En çok akademik yayın yapan yazarlar

Görsel 5, WoS veritabanında dikey bahçeler konusunda en fazla akademik yayın yapan 10 ülkeyi listelemektedir. Dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımlarına ilişkin akademik yayınların ülkelere göre dağılımı incelendiğinde, belirli ülkelerin literatürde belirgin biçimde öne çıktığı görülmektedir. Çin, 735 yayın ile alanda en fazla akademik üretime sahip ülke

konumundadır. Çin'i sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri (452), Avustralya (317) ve İtalya (291) takip etmektedir. İngiltere ise 215 yayın ile ilk beş içerisinde yer almaktadır.

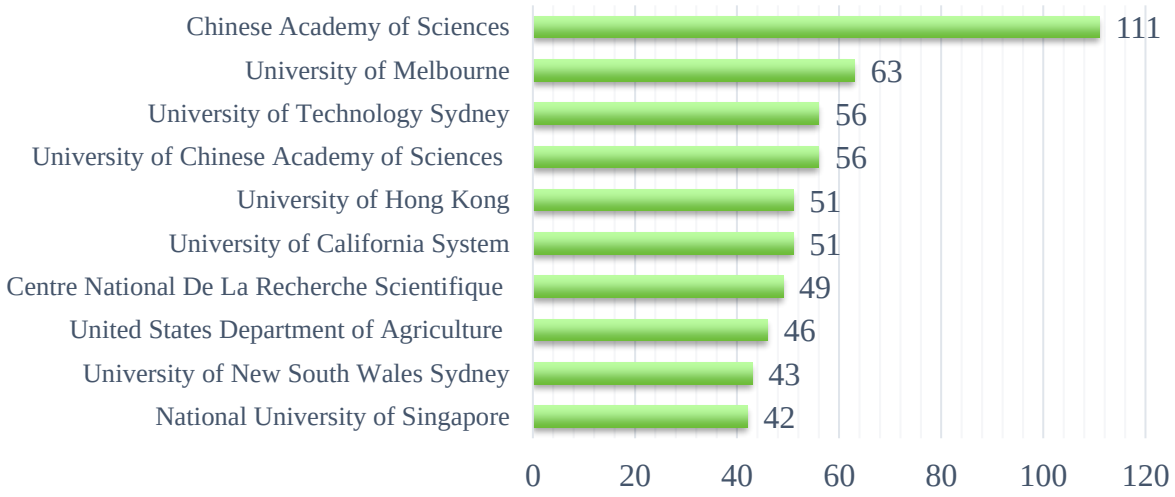
İlk 10 ülke içerisindeki yayın yoğunluğu, dikey bahçeler konusundaki araştırmaların özellikle hızlı kentleşme, çevresel sürdürülebilirlik ve kentsel iklim sorunlarının ön planda olduğu ülkelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu ülkelerin, kentsel yeşillendirme politikaları, çevre dostu yapı teknolojileri ve sürdürülebilir şehircilik uygulamalarına yönelik uzun süredir devam eden araştırma altyapılarına sahip olmaları, akademik üretimdeki bu yoğunluğu açıklayan temel etkenler arasında değerlendirilebilir.



Görsel 5. En çok akademik yayına sahip ülkeler

Araştırma konusuna ilişkin akademik yayınların kurumlara göre dağılımı Görsel 6'da gösterilmektedir. Dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımları alanında yayın yapan kurumlar incelendiğinde, belirli araştırma merkezlerinin literatürde öne çıktığı görülmektedir. Chinese Academy of Sciences, 111 yayın ile alanda en etkin kurum konumundadır. Bu kurumu, University of Melbourne (63), University of Technology Sydney (56) ve University of Chinese Academy of Sciences (56) takip etmektedir. University of Hong Kong ve University of California System ise 51'er yayın ile ilk sıralarda yer almaktadır.

En etkin kurumların dağılımı değerlendirildiğinde, özellikle Çin, Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri merkezli üniversite ve araştırma kurumlarının ön plana çıktığı dikkat çekmektedir. Bu durum, dikey bahçeler konusundaki akademik çalışmaların; kentsel sürdürülebilirlik, bina çevre performansı ve yeşil altyapı araştırmalarına güçlü yatırım yapan ülkelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Ayrıca, üniversiteler ile ulusal araştırma kurumlarının birlikte öne çıkması, alanın hem uygulamalı hem de temel araştırmalar açısından gelişmekte olduğunu ortaya koymaktadır.



Görsel 6. En çok akademik yayına sahip kurumlar

Çalışmaya konu olan toplam 1657 akademik çalışma arasında en fazla atıf alan en etkin 10 çalışma Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. En etkin 10 akademik çalışma

Yazar(lar), Yıl	Çalışma Adı	Kaynak	Çalışma Türü	Atıf Sayısı
Wolch vd. (2014)	Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'	Landscape and Urban Planning	Makale	2926
Rodolfi vd. (2009)	Microalgae for Oil: Strain Selection, Induction of Lipid Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-Cost Photobioreactor	Biotechnology and Bioengineering	Makale	2121
Bowler vd. (2010)	Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence	Landscape and Urban Planning	Derleme	2009
Norton vd. (2015)	Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes	Landscape and Urban Planning	Makale	836
Ng vd. (2012)	A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong	Building and Environment	Makale	722
Abhijith vd. (2017)	Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments - A review	Atmospheric Environment	Derleme	679
Alexandria ve Jones (2008)	Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates	Building and Environment	Makale	661
Meerow ve Newell (2017)	Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit	Landscape and Urban Planning	Makale	645

Çizelge 2. En etkin 10 akademik çalışma (devamı)

Yazar(lar), Yıl	Çalışma Adı	Kaynak	Çalışma Türü	Atıf Sayısı
Saebo vd. (2012)	Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces	Science of The Total Environment	Makale	581
Brutus vd. (2010)	A domain swap approach reveals a role of the plant wall-associated kinase 1 (WAK1) as a receptor of oligogalacturonides	Proceedings of The National Academy of Sciences of The Unıted States of America	Makale	573

Dikey bahçeler ve kentsel yeşillendirme yaklaşımları alanında en fazla atıf alan çalışmalar incelendiğinde, literatürde belirli temaların ön plana çıktığı görülmektedir. Wolch vd. (2014) tarafından yayımlanan ve kentsel yeşil alanlar, çevresel adalet ve kamusal sağlık ilişkisini ele alan çalışma, 2926 atıf ile alandaki en etkili yayın konumundadır. Bunu, mikroalg kültivasyonu ve biyoteknolojik yaklaşımları ele alan Rodolfi vd. (2009) ile kentsel soğutma ve yeşil altyapı temalarına odaklanan Bowler vd. (2010) takip etmektedir.

İlk 10 çalışma genel olarak değerlendirildiğinde, araştırmaların büyük ölçüde kentsel ısı adası etkisi, bina ölçeğinde enerji ve çevresel performans, hava kirliliğinin azaltılması ve yeşil altyapı planlaması gibi konular etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, dikey bahçeler konusundaki yüksek etki değerine sahip çalışmaların, yalnızca estetik veya peyzaj odaklı değil; kent ölçeğinde çevresel sürdürülebilirlik ve iklim uyum stratejileriyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, kentsel yeşillendirme yaklaşımları kapsamında dikey bahçeler konusundaki akademik literatürün gelişimini Web of Science veri tabanına dayalı bibliyometrik göstergeler aracılığıyla incelemiştir. Elde edilen bulgular, dikey bahçelerin son yıllarda kentsel sürdürülebilirlik, çevresel performans ve iklim uyum stratejileri bağlamında giderek artan bir akademik ilgi gördüğünü ortaya koymaktadır. Özellikle 2010 yılı sonrasında yayın sayılarında belirgin bir artış gözlenmesi, dikey bahçelerin yalnızca tasarımsal bir yaklaşım olmaktan çıkarak çok disiplinli bir araştırma alanı haline geldiğini göstermektedir.

Yıllara göre yayın ve atıf dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, akademik üretimdeki artışın bilimsel etki ile paralel ilerlediği belirlenmiştir. Son yıllarda atıf sayılarındaki hızlı yükseliş, dikey bahçeler konusundaki çalışmaların literatürde daha görünür ve referans alınır hale geldiğine işaret etmektedir. Bu durum, alanın olgunlaşma sürecine girdiğini ve temel araştırma temalarının belirginleştiğini göstermektedir.

Yayın türlerine ilişkin bulgular, literatürün ağırlıklı olarak makale formatında üretildiğini, ancak bildirilerin de kayda değer bir paya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, dikey bahçeler konusunun akademik toplantılarda güncelliğini koruduğunu ve yeni araştırma

eğilimlerinin sıklıkla bildiri platformlarında tartışıldığını göstermektedir. Disipliner dağılım sonuçları ise dikey bahçelerin çevre bilimleri, kentsel çalışmalar, mühendislik ve yapı teknolojileri başta olmak üzere geniş bir disiplinler arası çerçevede ele alındığını ortaya koymaktadır.

Ülke ve kurum bazlı analizler, akademik üretimin özellikle Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Avustralya gibi hızlı kentleşme ve sürdürülebilir şehircilik politikalarına önem veren ülkelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Öne çıkan kurumların büyük ölçüde üniversiteler ve ulusal araştırma merkezlerinden oluşması, dikey bahçeler konusundaki çalışmaların hem kuramsal hem de uygulamalı boyutlarının birlikte geliştiğine işaret etmektedir. Ayrıca belirli araştırmacı gruplarının literatürde öne çıkması, alan içerisinde çekirdek bir akademik topluluğun oluştuğunu göstermektedir.

En fazla atıf alan çalışmalar incelendiğinde, dikey bahçelerle ilişkili literatürün ağırlıklı olarak kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, mikroklimatik iyileştirme, hava kalitesinin artırılması ve yeşil altyapının çok işlevli yapısı gibi temalar etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bulgu, dikey bahçelerin estetik kaygıların ötesinde, kent ölçeğinde çevresel sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesini artırmaya yönelik stratejik bir araç olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu bibliyometrik değerlendirme, dikey bahçelerin kentsel yeşillendirme literatüründe giderek merkezî bir konuma yerleştiğini göstermektedir. Çalışma, alanın genel eğilimlerini ve baskın araştırma temalarını bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koyarak, gelecekte yapılacak akademik çalışmalar ve kentsel yeşillendirme politikaları için literatür temelli bir referans çerçevesi sunmaktadır. Bununla birlikte, analizlerin yalnızca Web of Science veri tabanı ile sınırlandırılmış olması çalışmanın temel sınırlılığıdır. Gelecek çalışmalarda farklı veri tabanlarının dâhil edilmesi ve gelişmiş bibliyometrik analiz tekniklerinin kullanılması, dikey bahçeler konusundaki akademik üretimin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., … Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*, *162*, 71–86. doi:10.1016/j.atmosenv.2017.05.014

Alexandri, E. ve Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, *43*(4), 480–493. doi:10.1016/j.buildenv.2006.10.055

Ay, İ. (2024). Akıllı Ev Sistemleri Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz: Web Of Science Tabanlı Bir Çalışma. *III. International Fırat Scientific Research Congress* içinde (ss. 114–121). Elazığ: Ases Publications.

Ay, İ. ve Dal, M. (2024). 1989'dan Günümüze Dijital Mimarlık: Akademik Yayınların

Bibliyometrik Analizi. *International Science and Art Congress* içinde (ss. 190–198). Kahramanmaraş: Ases Publications.

Bekler, S., Dal, M., Ay, İ. ve Bekler, B. (2025). Sürdürülebilir Mimarlık Araştırmalarında Bilimsel Eğilimler: Bibliyometrik Analiz ve Tematik Haritalama. *Yakın Mimarlık Dergisi*, *9*(1), 61–87. doi:10.32955/neujna202591939

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M. ve Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, *97*(3), 147–155. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.05.006

Brutus, A., Sicilia, F., Macone, A., Cervone, F. ve De Lorenzo, G. (2010). A domain swap approach reveals a role of the plant wall-associated kinase 1 (WAK1) as a receptor of oligogalacturonides. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United of States of America*, *107*(20), 9452–9457. doi:10.1073/pnas.1000675107

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N. ve Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*, 285–296. doi:10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Lipe, W. N. ve Thomas, D. (1980). Effects of Onion Transplant Pruning and Orientation on Plant-Survival, Yield and Size Distribution. *Hortscience*, *15*(1), 28–29.

Mayr, P. ve Scharnhorst, A. (2015). Scientometrics and information retrieval: weak-links revitalized. *Scientometrics*, *102*(3), 2193–2199. doi:10.1007/s11192-014-1484-3

Meerow, S. ve Newell, J. P. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, *159*, 62–75. doi:10.1016/j.landurbplan.2016.10.005

Ng, E., Chen, L., Wang, Y. ve Yuan, C. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, *47*, 256–271. doi:10.1016/j.buildenv.2011.07.014

Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M. ve Williams, N. S. G. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, *134*, 127–138. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.10.018

Rodolfi, L., Zittelli, G. C., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G. ve Tredici, M. R. (2009). Microalgae for Oil: Strain Selection, Induction of Lipid Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-Cost Photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*, *102*(1), 100–112. doi:10.1002/bit.22033

Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H. ve Gawronski, S. W. (2012).

Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of The Total Environment*, *427–428*, 347–354. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.084

Wolch, J. R., Byrne, J. ve Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, *125*, 234–244. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.01.017

TEMATİK HARİTALAR BAĞLAMINDA KÜLTÜREL MİRAS ÇALIŞMALARININ GELİŞİMİ: WEB OF SCİENCE BİBLİYOMETRİK DEĞERLENDİRMESİ

Öğr. Gör. Dr. İlhami AY

Hakkari Üniversitesi / Çölemerik Meslek Yüksekokulu

ilhamiay@hakkari.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-3506-3234

Doç. Dr. Şefika ERGİN

Dicle Üniversitesi / Mimarlık Fakültesi

erginsefika@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-7287-7886

ÖZET

Tematik haritalar ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), kültürel miras alanlarının belgelenmesi, analiz edilmesi ve korunmasına yönelik çalışmalarda giderek daha önemli bir rol üstlenmektedir. Kültürel mirasın mekânsal boyutlarının anlaşılması, miras alanlarının sürdürülebilir yönetimi ve planlama süreçleri açısından tematik haritalama yaklaşımlarını vazgeçilmez hale getirmektedir. Buna karşın, tematik haritalar bağlamında kültürel miras çalışmalarının akademik literatürde nasıl bir gelişim gösterdiğini ortaya koyan bütüncül değerlendirmeler sınırlı kalmıştır.

Bu bildirinin amacı, tematik haritalar ve mekânsal analiz yaklaşımlarının kültürel miras araştırmalarındaki yerini ve gelişimini bibliyometrik göstergeler aracılığıyla ortaya koymaktır. Bu doğrultuda, Web of Science Core Collection veri tabanında yer alan yayınlar temel alınarak alanın zamansal gelişimi, yayın eğilimleri, öne çıkan disiplinler, ülkeler, kurumlar ve yüksek etkiye sahip çalışmalar genel hatlarıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada, tematik haritalar ile kültürel miras arasındaki ilişkinin özellikle çevre bilimleri, coğrafya, arkeoloji ve uzaktan algılama gibi disiplinlerde yoğunlaştığı görülmektedir.

Elde edilen bulgular, tematik haritaların kültürel miras çalışmalarında yalnızca bir görselleştirme aracı değil, aynı zamanda analitik ve karar destek süreçlerinin temel bileşenlerinden biri haline geldiğini göstermektedir. Bu bildiri, alanın genel akademik eğilimlerini ortaya koyarak tematik haritalar ve kültürel miras ilişkisine yönelik gelecekte yapılacak çalışmalar için kavramsal ve yöntemsel bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Tematik haritalar, Kültürel miras, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Mekânsal analiz, Bibliyometrik analiz

1. GİRİŞ

Kültürel miras, toplumların tarihsel, sosyal ve mekânsal birikimlerini yansıtan somut ve soyut değerlerin bütününü ifade etmekte olup, bu mirasın belgelenmesi, korunması ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi günümüzde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle kültürel peyzajlar, tarihî yapılar ve miras alanları gibi mekânsal bileşenler, insan–çevre etkileşiminin uzun dönemli sonuçlarını yansıtan karmaşık sistemler olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda, kültürel miras çalışmalarında mekânsal verilerin analizi ve görselleştirilmesi, miras alanlarının anlaşılması ve yorumlanmasında temel bir araç haline gelmiştir (Willemen vd., 2008; Geri vd., 2010).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tematik haritalar ve mekânsal analiz yaklaşımları, kültürel miras alanlarının çok boyutlu yapısını ortaya koymak için yaygın biçimde kullanılmaktadır. Tematik haritalar; kültürel peyzaj işlevleri, ekosistem hizmetleri, arazi kullanım değişimleri ve insan faaliyetlerinin mekânsal etkilerinin analiz edilmesinde güçlü bir araç sunmaktadır. Bu tür çalışmalar, kültürel ve doğal bileşenlerin mekânsal dağılımını betimleyerek, miras alanlarının korunması ve planlanmasına yönelik karar süreçlerini desteklemektedir (Plieninger vd., 2013; Turner vd., 2014). Ayrıca katılımcı haritalama ve mekânsal analiz yaklaşımları, kültürel değerlerin yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda sosyo-kültürel boyutlarıyla da ele alınmasına olanak tanımaktadır (Fagerholm vd., 2012; Klain ve Chan, 2012).

Literatürde tematik haritalar ve mekânsal analizlerin kültürel miras bağlamında kullanımına ilişkin çok sayıda uygulamalı çalışma bulunmakla birlikte, bu çalışmaların zamansal gelişimini, disiplinler arası yayılımını ve akademik üretim yapısını bütüncül biçimde ortaya koyan değerlendirmeler sınırlıdır. Özellikle arazi kullanım değişimleri, peyzaj heterojenliği, doğal ve kültürel süreçlerin mekânsal modellenmesi gibi konular, farklı disiplinlerde ele alınmasına rağmen ortak bir çerçevede sistematik olarak analiz edilmemiştir (Mottet vd., 2006; Metternicht vd., 2005; Mertens ve Lambin, 1997). Bu durum, tematik haritaların kültürel miras çalışmalarındaki rolünün ve öneminin literatür düzeyinde net biçimde ortaya konulmasını zorlaştırmaktadır.

Bibliyometrik analizler, belirli bir araştırma alanındaki yayın eğilimlerini, atıf yapısını ve akademik üretimin mekânsal ve kurumsal dağılımını nicel göstergeler aracılığıyla incelemeye olanak tanımaktadır. Bu tür analizler, bir alanın tarihsel gelişimini ve araştırma yönelimlerini ortaya koyarak gelecekteki çalışmalar için yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır. Kültürel miras ve tematik haritalar gibi disiplinler arası bir alanda bibliyometrik değerlendirmeler, farklı araştırma temalarının ve metodolojik yaklaşımların nasıl evrildiğini anlamak açısından önem taşımaktadır (Donthu vd., 2021; Mayr ve Scharnhorst, 2015).

Bu çalışmanın amacı, tematik haritalar bağlamında kültürel miras çalışmalarının akademik literatürdeki gelişimini Web of Science veri tabanına dayalı olarak bibliyometrik yöntemlerle incelemektir. Çalışma kapsamında, yayın ve atıf sayılarının yıllara göre dağılımı, yayın türleri, en etkin yazarlar, kategoriler, kurumlar, diller, ülkeler ve en fazla atıf alan çalışmalar analiz edilerek alanın genel eğilimleri ortaya konulmuştur. Böylece, tematik haritalar ve mekânsal analiz yaklaşımlarının kültürel miras araştırmalarındaki konumu bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiş ve gelecekte yapılacak çalışmalar için literatür temelli bir referans çerçevesi sunulması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, tematik haritalar bağlamında kültürel miras alanındaki akademik çalışmaların gelişimini ortaya koymak amacıyla bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bibliyometri, belirli bir bilimsel alanın gelişim sürecini, yayın eğilimlerini ve akademik üretim yapısını niceliksel veriler aracılığıyla inceleyen disiplinler arası bir yöntemdir. Bu yaklaşım; yıllara göre yayın sayıları, atıf dağılımları, yayın türleri, yazarlar, kurumlar ve ülkeler gibi göstergelerin sistematik biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Donthu et al., 2021; Mayr & Scharnhorst, 2015).

Araştırmanın veri seti, Web of Science (WoS) Core Collection veri tabanından elde edilmiştir. WoS, disiplinler arası akademik yayınları kapsayan, atıf verilerine dayalı analizlere olanak sağlayan güvenilir bir veri kaynağı olması nedeniyle tercih edilmiştir. Veri toplama sürecinde, kültürel miras çalışmaları ile tematik haritalama ve mekânsal analiz yaklaşımlarını bir araya getiren yayınlara odaklanılmıştır.

Bu kapsamda, gelişmiş arama (advanced search) yöntemi kullanılarak aşağıdaki anahtar kelime grubu sorgulanmıştır:

("cultural heritage" OR "architectural heritage" OR "built heritage" OR "historic buildings" OR "heritage sites" OR "cultural landscape") AND ("thematic map" OR "thematic mapping" OR "spatial analysis" OR "GIS" OR "geographic information system" OR "cartographic analysis" OR "spatial mapping")

Arama sonuçları, 2025 ve 2026 yıllarına ait yayınlar hariç tutularak sınırlandırılmıştır. Böylece analiz edilen veri setinin tamamlanmış yayın döngülerini temsil etmesi ve atıf verilerinin daha sağlıklı değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, önceki bibliyometrik çalışmalardan farklı olarak herhangi bir haritalama veya ağ analiz yazılımı (VOSviewer vb.) kullanılmamıştır. Analizler, tamamen Web of Science'ın sunduğu bibliyometrik göstergeler ve raporlama araçları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, literatürün genel eğilimlerini betimleyici bir çerçevede değerlendirmeyi hedeflemektedir.

Çalışma kapsamında aşağıdaki bibliyometrik göstergeler analiz edilmiştir:

- Yıllara göre yayın sayıları ve atıf dağılımları,
- Yayın türleri (makale, bildiri, derleme vb.),
- En etkin yazarlar,
- Web of Science kategorileri,
- En etkin kurumlar,
- Yayın dilleri,
- Ülkelere göre yayın dağılımı,
- En fazla atıf alan çalışmalar.

Bu göstergeler aracılığıyla, tematik haritalar ve mekânsal analiz yaklaşımlarının kültürel miras çalışmalarındaki akademik gelişimi, disiplinler arası yayılımı ve coğrafi dağılımı bütüncül bir bakış açısıyla ortaya konulmuştur.

Araştırma süreci aşağıdaki aşamalar doğrultusunda yürütülmüştür:

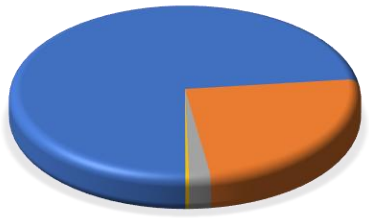
- **Araştırma Konusunun ve Kapsamının Belirlenmesi:** Tematik haritalama ve mekânsal analiz yöntemlerinin kültürel miras çalışmalarındaki yeri ve gelişimi araştırmanın temel odağını oluşturmuştur.
- **Veri Tabanı ve Anahtar Kelimelerin Belirlenmesi:** Web of Science veri tabanı seçilmiş; kültürel miras ve tematik haritalama kavramlarını temsil eden anahtar kelime grupları oluşturulmuştur.
- **Veri Toplama ve Filtreleme Süreci:** Belirlenen anahtar kelimelerle elde edilen yayınlar, yıl kriteri (2025–2026 hariç) dikkate alınarak filtrelenmiş ve analiz için uygun veri seti oluşturulmuştur.
- **Verilerin Analizi ve Değerlendirilmesi:** Web of Science analiz araçları kullanılarak yayın ve atıf verileri incelenmiş; elde edilen bulgular tablolar ve grafikler aracılığıyla yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın temel sınırlılığı, yalnızca Web of Science veri tabanı ile sınırlı olmasıdır. Scopus, Google Scholar veya diğer veri tabanları kapsam dışı bırakılmıştır. Ayrıca, ağ tabanlı görselleştirme ve eş-oluşum analizleri yapılmamış; çalışma betimleyici bibliyometrik göstergeler üzerinden değerlendirilmiştir. Buna rağmen, WoS'un sunduğu kapsamlı atıf ve yayın verileri, araştırma konusunun genel eğilimlerini ortaya koymak açısından yeterli bir zemin sunmaktadır.

3. BULGULAR

Web of Science veri tabanında yapılan arama sonucunda elde edilen verilere göre toplamda 1657 akademik çalışmaya rastlanmıştır. Bu akademik yayınların dağılımı Görsel 1'de gösterilmiştir. Akademik yayın türleri incelendiğinde bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunun makale (1212 adet) olduğu gözlemlenmiştir. Makale dışında bildiri (406 adet), derleme makale (33 adet), editoryal materyal (5 adet) gibi çalışmalar da bulunmaktadır. İlgili akademik çalışmaların yıllara göre dağılımı incelendiğinde ise ilk çalışmanın Ludeke ve ark. (1990) tarafından kaleme alınan "An Analysis of Anthropogenic Deforestation Using Logistic-Regression and GIS" isimli makale olduğu görülmüştür.

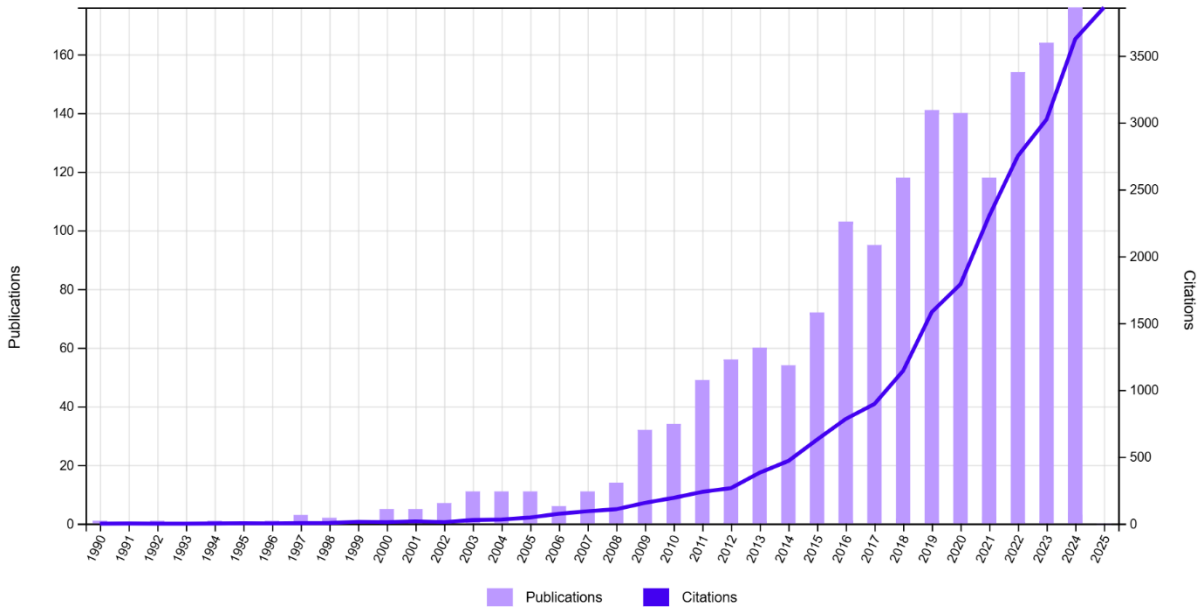
Yayın Türü	Sayısı



Makale	1212
Bildiri	406
Derleme Makale	33
Editöryal Materyal	5
Mektup	1

Görsel 1. Akademik yayınların türleri

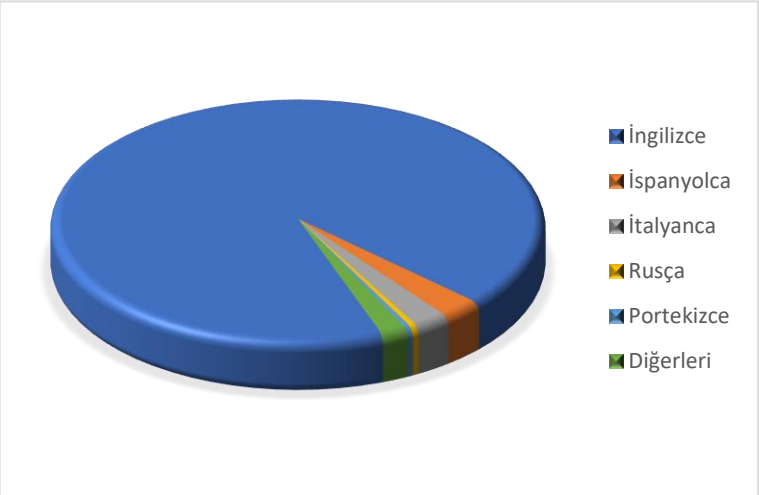
Tematik haritalar bağlamında kültürel miras çalışmaları ile yazılan akademik çalışmalarının yıllara göre dağılımları ve aldıkları atıf sayıları Görsel 2'te gösterilmiştir. Yıl bazında bakıldığında akademik çalışmaların düzenli artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Yıl bazında en fazla yayın ise 2024 yılında yapılmıştır. Atıf sayılarına bakıldığında ise yayın sayısındaki artışla birlikte atıf sayılarında da artış olmuştur. En fazla atıf sayısı 2024 yılında 3625 olduğu gözlemlenmiştir.



Görsel 2. Makale ve atıfların yıllara göre dağılımı

Web of Science veri tabanındaki yayınların dil dağılımı Görsel 3'te gösterilmektedir. Akademik yayınların dilleri arasında, 1657 yayından 1533'ü ile İngilizce en çok tercih edilen dil olarak dikkat çekmektedir. İspanyolca, İtalyanca, Rusça ve Portekizce çalışmalarda kullanılan diller arasındadır. Tematik haritalar bağlamında kültürel miras konusunun tüm dünyada akademik

yayın dilleri arasında en çok kullanılan ve tercih edilen diller arasındadır. Küresel yayın ağına hitap etmek için İngilizce dilinin önemi de vurgulanmaktadır.



Yayın Dili	Sayısı
İngilizce	1533
İspanyolca	44
İtalyanca	38
Rusça	7
Portekizce	6
Diğerleri	29

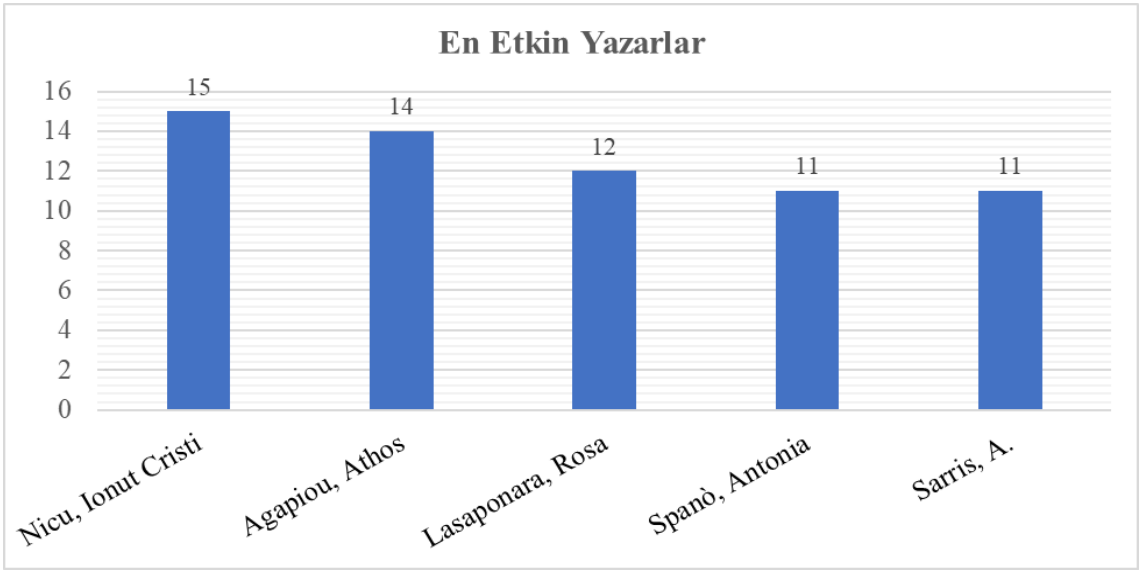
Görsel 3. Akademik yayınların dil dağılımı

WoS veri tabanındaki akademik yayınların kategorileri analiz edildiğinde, ilk 10 kategori Tablo 1'de gösterilmektedir. Arama sonucunda, Çevre Bilimleri kategorisinde 283 yayın yapıldığı görülmektedir. Akademik yayınların kategorileri dikkate alındığında, farklı disiplinlerdeki çalışmalar araştırma konusunun ne kadar geniş bir yelpazeye yayıldığını göstermektedir.

Çizelge 1. İlgili konuya ilişkin akademik yayınların kategorileri

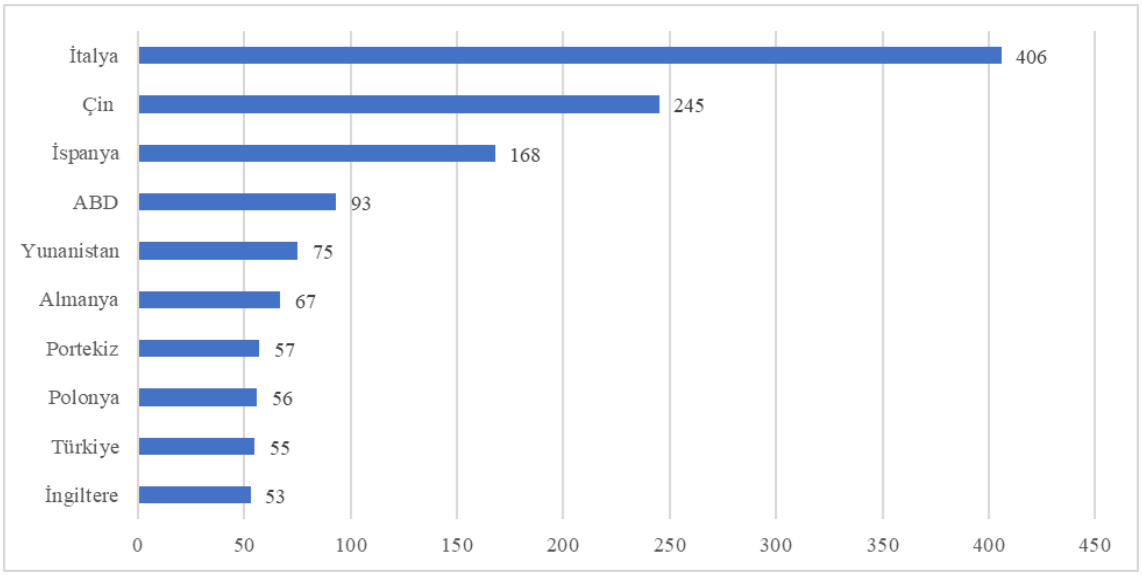
#	Yayın Kategorisi	Yayın Sayısı	Yüzde (%)	#	Yayın Kategorisi	Yayın Sayısı	Yüzde (%)
1	Çevre Bilimleri	283	17,1	6	Coğrafya Fiziksel	198	11,9
2	Uzaktan Algılama	247	14,9	7	Coğrafya	181	10,9
3	Çokdisipliner Jeobilimler	238	14,4	8	Yeşil Sürdürülebilir Bilim Teknoloji	134	8,1
4	Çevre Çalışmaları	227	13,7	9	Beşeri Bilimler Çok Disiplinli	129	7,8
5	Arkeoloji	224	13,5	10	Görüntüleme Bilimi Fotoğraf Teknolojisi	129	7,8

Web of Science veri tabanında ilgili konuda yayın yapan yazarlar Görsel 4'te gösterilmektedir. Konuya ilişkin en fazla yayına sahip beş yazar listelenmiştir. Nicu, Ionut Cristi 15 yayınla en etkin yazar konumunda bulunmaktadır. Bunu, 14 yayına sahip Agapiou, Athos ile 12 yayına sahip Lasaponara, Rosa takip etmekte olup, her iki araştırmacı da alandaki önde gelen isimler arasında yer almaktadır.



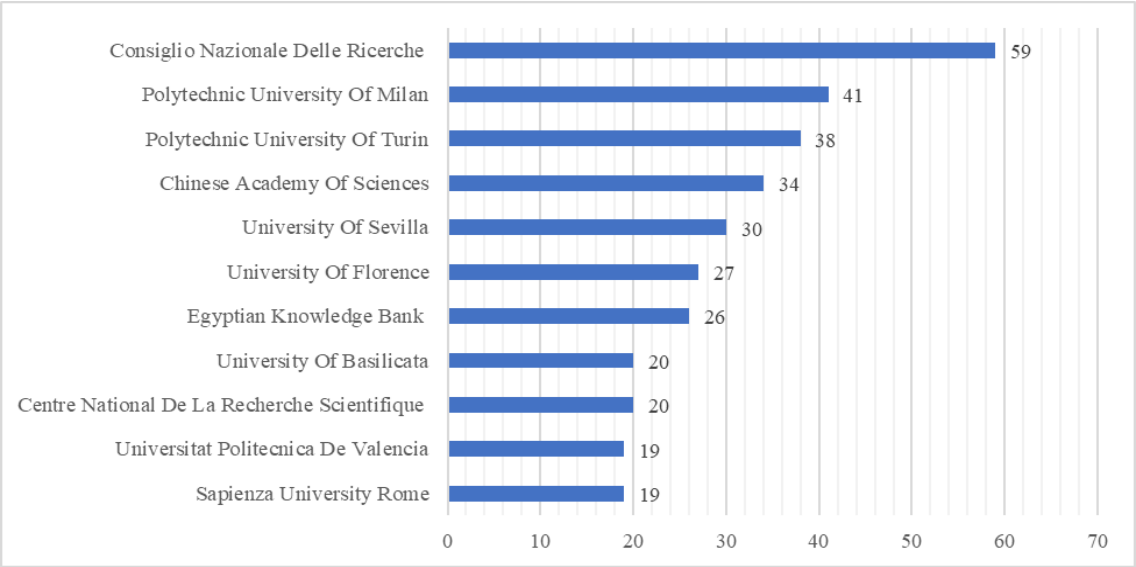
Görsel 4. En çok akademik yayın yapan yazarlar

Görsel 5, WoS veritabanında Tematik haritalar bağlamında kültürel miras konusunda en fazla akademik yayın yapan 10 ülkeyi listelemektedir. İtalya 406, Çin 245, İspanya 168 ile en fazla akademik yayın yapan ülkeler olmuştur.



Görsel 5. En çok akademik yayına sahip ülkeler

Araştırma konusuna ilişkin akademik yayınların kurumlara göre dağılımı Görsel 6'da gösterilmektedir. En aktif 10 kurum, 59 yayınla Consiglio Nazionale Delle Ricerche, 41 yayınla Polytechnic University of Milan ve 38 yayınla Polytechnic University of Turin'dir.



Görsel 6. En çok akademik yayına sahip kurumlar

Çalışmaya konu olan toplam 1657 akademik çalışma arasında en fazla atıf alan en etkin 10 çalışma Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. En etkin 10 akademik çalışma

Yazar(lar), Yıl	Çalışma Adı	Kaynak	Çalışma Türü	Atıf Sayısı
Plieninger vd. (2013)	Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level	Land Use Policy	Makale	947
Gröger ve Plümer (2012)	CityGML - Interoperable semantic 3D city models	ISPRS Journal of Photogrammetry And Remote Sensıng	Derleme	438
Mottet vd. (2006)	Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees	Agriculture Ecosystems & Environment	Makale	415
Metternicht vd. (2005)	Remote Sensing of Landslides: An Analysis of The Potential Contribution to Geo-Spatial Systems For Hazard Assessment in Mountainous Environments	Remote Sensing of Environment	Makale	389
Turner vd. (2013)	Bundling Ecosystem Services in Denmark: Trade-offs and Synergies in a Cultural Landscape	Landscpae and Urban Planning	Makale	370
Fagerholm vd. (2012)	Community Stakeholders' Knowledge in Landscape Assessments - Mapping Indicators For Landscape Services	Ecological Indicators	Makale	363
Klain ve Chan (2012)	Navigating Coastal Values: Participatory Mapping of Ecosystem Services for Spatial Planning	Ecological Economics	Makale	248

Çizelge 2. En etkin 10 akademik çalışma (devamı)

Yazar(lar), Yıl	Çalışma Adı	Kaynak	Çalışma Türü	Atıf Sayısı
Geri vd. (2010)	Human Activity Impact on the Heterogeneity of a Mediterranean Landscape	Applied Geography	Makale	211
Vafeidis vd. (2008)	A New Global Coastal Database For Impact and Vulnerability Analysis to Sea-Level Rise	Journal of Coastal Research	Makale	205
Mertens ve Lambin (1997)	Spatial Modelling of Deforestation in Southern Cameroon - Spatial Disaggregation of Diverse Deforestation Processes	Applied Geography	Makale	201

Plieninger vd. (2013) tarafından yayımlanan *"Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level"* başlıklı makale, 947 atıf sayısı ile ilgili alandaki en etkili çalışmalar arasında öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, Gröger ve Plümer (2012) tarafından kaleme alınan *"CityGML – Interoperable semantic 3D city models"* başlıklı derleme çalışması 438 atıf alırken, Mottet vd. (2006) tarafından gerçekleştirilen *"Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees"* başlıklı makale de 415 atıf sayısı ile literatürde dikkat çeken çalışmalar arasında yer almaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, tematik haritalar bağlamında kültürel miras alanındaki akademik literatürün gelişimini Web of Science veri tabanına dayalı bibliyometrik göstergeler aracılığıyla incelemiştir. Elde edilen bulgular, tematik haritalar, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve mekânsal analiz yaklaşımlarının kültürel miras çalışmalarında giderek artan bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle 2000'li yıllardan sonra yayın sayılarında gözlenen düzenli artış, bu yöntemlerin disiplinler arası araştırmalarda yaygın biçimde benimsendiğini göstermektedir.

Yıllara göre yayın ve atıf dağılımları birlikte değerlendirildiğinde, akademik üretimdeki artışın atıf sayılarıyla paralel ilerlediği görülmüştür. Bu durum, tematik haritalar temelli kültürel miras çalışmalarının yalnızca nicel olarak değil, bilimsel etki açısından da güçlendiğine işaret etmektedir. Son yıllarda atıf yoğunluğundaki belirgin artış, alanın olgunlaşma sürecine girdiğini göstermektedir.

Yayın türleri incelendiğinde, çalışmaların büyük çoğunluğunun makale formatında olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, tematik haritalar ve kültürel miras ilişkisinin ağırlıklı olarak özgün araştırmalar ve uygulamalı çalışmalar üzerinden ele alındığını göstermektedir. Bildiri türündeki yayınların kayda değer bir orana sahip olması ise konunun akademik toplantılarda güncelliğini koruduğunu ve yeni araştırma eğilimlerinin bu platformlarda tartışıldığını ortaya koymaktadır.

Disipliner dağılım sonuçları, çevre bilimleri, uzaktan algılama, coğrafya, arkeoloji ve çok disiplinli jeobilimler gibi alanların öne çıktığını göstermektedir. Bu durum, kültürel miras çalışmalarında tematik haritaların yalnızca beşerî bilimlerle sınırlı kalmadığını; doğal bilimler ve çevresel araştırmalarla güçlü bir etkileşim içinde ele alındığını ortaya koymaktadır. Tematik

haritalar, kültürel mirasın hem fiziksel hem de çevresel boyutlarının analizinde ortak bir metodolojik zemin sunmaktadır.

Ülke ve kurum bazlı analizler, özellikle Avrupa ülkelerinin akademik üretimde belirgin biçimde öne çıktığını göstermiştir. Bu durum, söz konusu ülkelerin zengin kültürel miras varlığına sahip olmaları ve kültürel peyzaj araştırmalarına uzun süredir önem vermeleriyle ilişkilendirilebilir. En fazla atıf alan çalışmaların ekosistem hizmetleri, kültürel peyzaj işlevleri ve arazi kullanım değişimleri gibi temalar etrafında yoğunlaşması, tematik haritaların kültürel miras araştırmalarında analitik ve karar destek süreçlerinin önemli bir bileşeni haline geldiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu bibliyometrik değerlendirme, tematik haritalar ve mekânsal analiz yaklaşımlarının kültürel miras çalışmalarında giderek merkezî bir konuma yerleştiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, literatürdeki genel eğilimleri ve baskın araştırma temalarını ortaya koyarak gelecekte yapılacak araştırmalar için yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte, analizlerin yalnızca Web of Science veri tabanı ile sınırlı olması çalışmanın temel sınırlılığını oluşturmaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı veri tabanlarının ve gelişmiş bibliyometrik yöntemlerin kullanılması, alanın daha ayrıntılı ve karşılaştırmalı biçimde incelenmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 133*, 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Fagerholm, N., Käyhkö, N., Ndumbaro, F., & Khamis, M. (2012). Community stakeholders' knowledge in landscape assessments: Mapping indicators for landscape services. *Ecological Indicators, 18*, 421–433. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.004

Geri, F., Amici, V., & Rocchini, D. (2010). Human activity impact on the heterogeneity of a Mediterranean landscape. *Applied Geography, 30*(3), 370–379. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.10.006

Gröger, G., & Plümer, L. (2012). CityGML: Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 71*, 12–33. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004

Klain, S. C., & Chan, K. M. A. (2012). Navigating coastal values: Participatory mapping of ecosystem services for spatial planning. *Ecological Economics, 82*, 104–113. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.008

Ludeke, A. K., Maggio, R. C., & Reid, L. M. (1990). An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS. *Journal of Environmental Management, 31*(3), 247–259. https://doi.org/10.1016/S0301-4797(05)80038-6

Mayr, P., & Scharnhorst, A. (2015). Scientometrics and information retrieval: Weak links revitalized. *Scientometrics, 102*(3), 2193–2199. https://doi.org/10.1007/s11192-014-1484-3

Mertens, B., & Lambin, E. F. (1997). Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon: Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, *17*(2), 143–162. https://doi.org/10.1016/S0143-6228(97)00032-5

Metternicht, G., Hurni, L., & Gogu, R. (2005). Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geospatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment*, *98*(2–3), 284–303. https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.004

Mottet, A., Ladet, S., Coqué, N., & Gibon, A. (2006). Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 114*(2–4), 296–310. https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.017

Plieninger, T., Dijks, S., Oteros-Rozas, E., & Bieling, C. (2013). Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy, 33*, 118–129. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.013

Turner, K. G., Odgaard, M. V., Bøcher, P. K., Dalgaard, T., & Svenning, J. C. (2014). Bundling ecosystem services in Denmark: Trade-offs and synergies in a cultural landscape. *Landscape and Urban Planning*, *125*, 89–104. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.007

Vafeidis, A. T., Nicholls, R. J., McFadden, L., Tol, R. S. J., Hinkel, J., Spencer, T., … & Klein, R. J. T. (2008). A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research, 24*(4), 917–924. https://doi.org/10.2112/06-0725.1

MICROBIOTA–IMMUNE SYSTEM INTERACTIONS IN MULTIPLE SCLEROSIS: CURRENT EVIDENCE AND CLINICAL IMPLICATIONS

Dr. Öğr. Üyesi Sevil ÖZTAŞ

Karabük Üniversitesi

seviloztas@karabuk.edu.tr - 0000-0002-4134-1587

ABSTRACT

Multiple sclerosis (MS) is a chronic autoimmune disease affecting the central nervous system, exhibiting inflammatory, demyelinating, and neurodegenerative characteristics. The disease develops as a result of the interaction of genetic predisposition, environmental factors, and immune system dysregulation. However, the inability of genetic risk factors alone to explain the increased incidence of MS has increased interest in the role of environmental and lifestyle factors in disease pathogenesis.

In recent years, among environmental factors, the gut microbiota has emerged as a potential key element in the pathogenesis of MS and the regulation of disease activity. The gut microbiota plays a fundamental role in the development of the host immune system, the maintenance of immune tolerance, and the regulation of inflammatory responses. It is strongly suggested that quantitative and qualitative changes (dysbiosis) in the microbiota can affect the onset and course of autoimmune diseases.

Observational studies in MS patients have revealed that the gut microbiota composition differs significantly from that of healthy individuals. Specifically, a decrease in bacterial groups that support regulatory T cells and an increase in microorganisms associated with pro-inflammatory immune responses have been linked to an immune profile that overlaps with the pathophysiology of MS.

This interaction between the gut microbiota and the central nervous system occurs through a multifaceted communication network defined as the gut-brain-immune axis. This axis can directly influence neuroinflammatory processes by shaping immune responses through microbial metabolites, neural pathways, cytokines, and endocrine signaling. Experimental autoimmune encephalomyelitis models have shown that the microbiota plays an active regulatory role in initiating and maintaining neuroinflammation.

In the clinical field, there is a growing number of studies examining the effects of probiotic, prebiotic, and diet-based interventions on inflammatory markers and immune responses in MS patients. Although current clinical evidence is not yet sufficient to develop standard treatment recommendations, microbiota-based approaches hold promise for complementary and personalized strategies in MS management.

Keywords: Gut–Brain–Immune Axis, Neuroinflammation, Immune Modulation

MULTİPLE SKLEROZDA MİKROBİYOTA–İMMÜN SİSTEM ETKİLEŞİMİ: GÜNCEL KANITLAR VE KLİNİK YANSIMALAR

ÖZET

Multiple skleroz (MS), santral sinir sistemini etkileyen, inflamatuvar, demiyelinizan ve nörodejeneratif özellikler gösteren kronik bir otoimmün hastalıktır. Hastalık; genetik yatkınlık, çevresel faktörler ve bağışıklık sistemi düzensizliklerinin etkileşimi sonucunda gelişmektedir. Ancak genetik risk faktörlerinin MS insidansındaki artışı tek başına açıklayamaması, çevresel ve yaşam tarzına bağlı etmenlerin hastalık patogenezindeki rolüne olan ilgiyi artırmıştır.

Son yıllarda, çevresel faktörler arasında bağırsak mikrobiyotası, MS patogenezi ve hastalık aktivitesinin düzenlenmesinde potansiyel bir anahtar unsur olarak öne çıkmıştır. Bağırsak mikrobiyotası; konak bağışıklık sisteminin gelişimi, immün toleransın sürdürülmesi ve inflamatuvar yanıtların düzenlenmesinde temel bir rol oynamaktadır. Mikrobiyotadaki niceliksel ve niteliksel değişikliklerin (disbiyozis), otoimmün hastalıkların ortaya çıkışı ve seyrini etkileyebileceği güçlü biçimde öne sürülmektedir.

MS hastalarında yapılan gözlemsel çalışmalar, bağırsak mikrobiyota kompozisyonunun sağlıklı bireylerden anlamlı biçimde farklı olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle düzenleyici T hücrelerini destekleyen bakteri gruplarının azalması ve proinflamatuvar immün yanıtlarla ilişkili mikroorganizmaların artışı, MS patofizyolojisiyle örtüşen bir bağışıklık profiliyle ilişkilendirilmiştir.

Bağırsak mikrobiyotası ile merkezi sinir sistemi arasındaki bu etkileşim, bağırsak–beyin–immün ekseni olarak tanımlanan çok yönlü bir iletişim ağı aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu eksen; mikrobiyal metabolitler, nöral yollar, sitokinler ve endokrin sinyaller üzerinden bağışıklık yanıtlarını şekillendirerek nöroinflamatuvar süreçleri doğrudan etkileyebilmektedir. Deneysel otoimmün ensefalomiyelit modelleri, mikrobiyotanın nöroinflamasyonun başlatılması ve sürdürülmesinde aktif bir düzenleyici rol oynadığını göstermiştir.

Klinik alanda ise probiyotik, prebiyotik ve diyet temelli müdahalelerin MS hastalarında inflamatuvar belirteçler ve immün yanıtlar üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar giderek artmaktadır. Her ne kadar mevcut klinik kanıtlar henüz standart tedavi önerileri geliştirmek için yeterli olmasa da mikrobiyota temelli yaklaşımlar MS yönetiminde tamamlayıcı ve kişiselleştirilmiş stratejiler açısından umut vadetmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bağırsak-Beyin-Bağışıklık Ekseni, Nöroinflamasyon, Bağışıklık Modülasyonu

1. GİRİŞ

Multiple skleroz (MS), merkezi sinir sistemini etkileyen, kronik, inflamatuvar ve demiyelinizan bir otoimmün hastalıktır ve genç erişkinlerde nörolojik bozukluğun en sık nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (1). Hastalık; inflamasyon, demiyelinizasyon, aksonal hasar ve nörodejenerasyon ile karakterizedir ve klinik olarak ataklarla seyreden veya ilerleyici formlar halinde ortaya çıkabilmektedir (2).

MS patogenezi henüz tam olarak aydınlatılamamış olmakla birlikte, güncel görüşler hastalığın genetik yatkınlık ile çevresel faktörlerin karmaşık etkileşimi sonucu geliştiğini ortaya koymaktadır (3). Genetik çalışmalar, özellikle HLA-DRB1*15:01 alelinin MS gelişimiyle güçlü biçimde ilişkili olduğunu göstermiştir; ancak genetik faktörler hastalık riskinin yalnızca bir kısmını açıklayabilmektedir (4). Bu durum, çevresel ve yaşam tarzı faktörlerinin MS patogenezindeki rolüne olan ilgiyi artırmıştır.

Son yıllarda çevresel faktörler arasında bağırsak mikrobiyotası, MS patogenezinde potansiyel olarak kritik bir düzenleyici unsur olarak öne çıkmıştır. Bağırsak mikrobiyotası, immün sistemle sürekli etkileşim halinde olan dinamik bir ekosistem olup, bağışıklık toleransının sürdürülmesi ve inflamatuvar yanıtların düzenlenmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir (5). Mikrobiyota kompozisyonundaki bozulmaların (disbiyoz), otoimmün hastalıkların gelişimiyle ilişkili olduğu birçok deneysel ve klinik çalışmada gösterilmiştir (6).

Artan deneysel ve klinik kanıtlar, bağırsak mikrobiyotası ile bağışıklık sistemi arasındaki çift yönlü ilişkinin MS'in gelişimi ve klinik seyri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olabileceğini düşündürmektedir. Deneysel otoimmün ensefalomiyelit modellerinde mikrobiyotanın varlığının hastalık gelişimi için gerekli olduğu, germ-free hayvanlarda ise inflamatuvar sürecin belirgin şekilde baskılandığı gösterilmiştir (7). Benzer şekilde, MS hastalarında yapılan metagenomik çalışmalar, sağlıklı bireylerle karşılaştırıldığında bağırsak mikrobiyota kompozisyonunda anlamlı farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur (8).

Bu bulgular, MS patogenezinin yalnızca santral sinir sistemiyle sınırlı bir süreç olmadığını; periferik immün yanıtlar ve bağırsak mikrobiyotası ile şekillenen sistemik bir hastalık modeli çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Mikrobiyota–immün sistem etkileşiminin daha iyi anlaşılması, MS'in patogenezine yönelik yeni bakış açıları sunmanın yanı sıra, gelecekte mikrobiyota temelli tanısal ve terapötik stratejilerin geliştirilmesine de zemin hazırlayabilir (9).

2. BAĞIRSAK MİKROBİYOTASI VE İMMÜN SİSTEM

Bağırsak mikrobiyotası, konak bağışıklık sisteminin gelişimi ve fonksiyonel olgunlaşmasında temel rol oynayan, dinamik ve kompleks bir mikroorganizma topluluğudur (6). İnsan immün sisteminin yaklaşık %70'inin gastrointestinal sistemle ilişkili lenfoid dokularda yer alması, mikrobiyota–immün sistem etkileşiminin fizyolojik önemini açıkça ortaya koymaktadır (10).

Bağırsak mikrobiyotası, doğuştan gelen bağışıklık yanıtlarını epitel bariyer bütünlüğünü güçlendirerek ve mukus tabakasının devamlılığını sağlayarak düzenlemektedir (10). Kommensal mikroorganizmalar, Paneth hücreleri aracılığıyla antimikrobiyal peptid üretimini uyararak patojen kolonizasyonunu baskılamaktadır (6). Bu mekanizmalar, bağırsak

geçirgenliğinin kontrol altında tutulmasında ve sistemik inflamasyonun önlenmesinde kritik rol oynamaktadır (11).

Adaptif bağışıklık düzeyinde mikrobiyota, $CD4^+$ T lenfositlerin farklılaşmasını yönlendirerek proinflamatuvar ve antiinflamatuvar yanıtlar arasındaki dengeyi belirlemektedir (5). Özellikle regülatör T hücreleri (Treg) ile Th17 hücreleri arasındaki dengenin korunması, immün toleransın sürdürülmesi açısından hayati öneme sahiptir (5). Disbiyotik mikrobiyota profillerinin Th1 ve Th17 yanıtlarını artırarak otoimmün inflamasyonu kolaylaştırabildiği hem deneysel hem de klinik çalışmalarda gösterilmiştir (6).

Bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen metabolitler, immün sistem modülasyonunda doğrudan etkili biyolojik aracı moleküller olarak görev yapmaktadır. Kısa zincirli yağ asitleri (asetat, propiyonat ve bütirat), Treg hücrelerinin farklılaşmasını destekleyerek antiinflamatuvar sitokin yanıtlarını güçlendirmektedir (12). Bu metabolitlerin azalmasının, artmış sistemik inflamasyon ve otoimmünite ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (13).

Mikrobiyotanın bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri yalnızca lokal bağırsak ortamı ile sınırlı kalmamaktadır. Mikrobiyal ürünler ve metabolitler dolaşım yoluyla periferik immün dokulara ve santral sinir sistemine ulaşarak nöroimmün yanıtları modüle edebilmektedir. Bu çift yönlü iletişim, bağırsak–beyin–immün ekseni kavramının temelini oluşturmaktadır (14).

Bağırsak mikrobiyotası kompozisyonundaki bozulmalar disbiyoz olarak tanımlanmakta ve disbiyozun artmış bağırsak geçirgenliği, endotoksin translokasyonu ve sistemik sitokin salınımı ile ilişkili olduğu gösterilmektedir (11). Bu süreçlerin, otoimmün hastalıkların patogenezinde bağışıklık toleransının kaybına katkıda bulunduğu düşünülmektedir (6).

Sonuç olarak, bağırsak mikrobiyotası ile immün sistem arasındaki karmaşık etkileşim, otoimmün hastalıkların gelişimi ve sürdürülmesinde merkezi bir rol oynamaktadır (5). Bu etkileşimin ayrıntılı olarak anlaşılması, MS gibi immün aracılı hastalıkların patogenezine yönelik yeni tanısal ve terapötik stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlayabilir (9).

3. MULTİPLE SKLEROZDA MİKROBİYOTA DİSBİYOZU: KLİNİK VE METAGENOMİK BULGULAR

Son yıllarda yapılan metagenomik ve 16S rRNA dizileme temelli çalışmalar, MS hastalarında bağırsak mikrobiyota kompozisyonunun sağlıklı bireylerden anlamlı biçimde farklılaştığını ortaya koymuştur (8). Bu çalışmalar, MS patogenezinde yalnızca genetik ve immün faktörlerin değil, aynı zamanda mikrobiyal çevresel bileşenlerin de önemli rol oynadığını göstermektedir (9).

MS hastalarında bağırsak mikrobiyotasında özellikle proinflamatuvar potansiyele sahip bazı mikroorganizmaların arttığı, buna karşılık immün toleransı destekleyen bakteri türlerinin azaldığı bildirilmiştir. *Akkermansia muciniphila* ve *Methanobrevibacter smithii* türlerinin MS hastalarında artış gösterdiği, buna karşın bütirat üreten bakterilerin belirgin şekilde azaldığı saptanmıştır. Bu değişikliklerin, Th1 ve Th17 ağırlıklı inflamatuvar bağışıklık yanıtlarını destekleyebileceği öne sürülmektedir (8).

Cekanaviciute ve arkadaşları tarafından yürütülen kapsamlı bir insan çalışmasında, MS hastalarından elde edilen mikrobiyota örneklerinin sağlıklı bireylere ait immün hücrelerde proinflamatuvar sitokin üretimini artırdığı gösterilmiştir. Aynı çalışmada, MS ile ilişkili bazı

bakteri türlerinin germ-free farelere transfer edilmesiyle deneysel otoimmün ensefalomiyelit benzeri inflamatuvar yanıtların indüklenebildiği bildirilmiştir. Bu bulgular, MS'e özgü mikrobiyota profilinin yalnızca bir epifenomen değil, potansiyel olarak patojenik bir unsur olduğunu desteklemektedir (15).

MS hastalarında gözlenen mikrobiyota disbiyozunun klinik özelliklerle de ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Tremlett ve arkadaşları, pediatrik ve erişkin MS kohortlarında bağırsak mikrobiyota kompozisyonunun hastalık aktivitesi ve inflamatuvar belirteçlerle korelasyon gösterebileceğini ortaya koymuştur. Özellikle mikrobiyota çeşitliliğindeki azalmanın daha yüksek hastalık aktivitesi ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir (16).

Hastalık modifiye edici tedavilerin de MS hastalarında bağırsak mikrobiyotası üzerinde etkili olabileceği gösterilmiştir. İmmünmodülatör tedavi alan MS hastalarında mikrobiyota kompozisyonunun kısmen değiştiği ve bazı antiinflamatuvar bakteri türlerinin yeniden arttığı bildirilmiştir (9). Bu durum, mikrobiyota değişikliklerinin yalnızca hastalıkla değil, aynı zamanda tedavi yanıtı ile de ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (9).

Genel olarak değerlendirildiğinde, MS hastalarında gözlenen bağırsak mikrobiyota disbiyozu; inflamatuvar bağışıklık yanıtlarının artışı, immün toleransın bozulması ve hastalık aktivitesinin sürdürülmesi ile ilişkili görünmektedir (8,15). Bu bulgular, mikrobiyotanın MS patogenezinde potansiyel bir hedef olabileceğini ve gelecekte tanısal biyobelirteç veya terapötik müdahale alanı olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır (9).

4. BAĞIRSAK–BEYİN–İMMÜN EKSENİ VE NÖROİNFLAMASYON

Bağırsak–beyin–immün ekseni, gastrointestinal sistem, bağışıklık sistemi ve santral sinir sistemi arasında kurulan çift yönlü ve çok katmanlı bir iletişim ağı olarak tanımlanmaktadır (14). Bu eksen; nöral, immün ve humoral yollar aracılığıyla bağırsak mikrobiyotasının santral sinir sistemi fonksiyonlarını ve nöroinflamatuvar süreçleri etkileyebilmesini mümkün kılmaktadır (17).

Bağırsak mikrobiyotası, vagus siniri aracılığıyla merkezi sinir sistemi ile doğrudan iletişim kurabilmektedir ve bu yolak özellikle inflamatuvar yanıtların düzenlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Vagal sinyalizasyonun modülasyonu yoluyla mikrobiyotanın, mikroglia aktivasyonu ve santral sitokin yanıtları üzerinde etkili olabildiği gösterilmiştir (18).

Humoral düzeyde ise bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen metabolitler ve mikrobiyal bileşenler, sistemik dolaşıma geçerek kan–beyin bariyerinin bütünlüğünü ve geçirgenliğini etkileyebilmektedir (19). Disbiyoz durumunda artmış bağırsak geçirgenliği ve endotoksin translokasyonu, kan–beyin bariyeri fonksiyonunun bozulması ve santral sinir sistemine proinflamatuvar sinyallerin ulaşması ile ilişkilendirilmiştir (19).

Bağırsak mikrobiyotasının ürettiği kısa zincirli yağ asitleri (SCFA'lar), nöroinflamasyonun düzenlenmesinde önemli biyolojik aracılar olarak görev yapmaktadır (20). SCFA'ların mikroglia hücrelerinin olgunlaşması ve homeostatik fonksiyonlarının sürdürülmesi için gerekli olduğu, bu metabolitlerin yokluğunda mikroglial disfonksiyon ve artmış inflamatuvar yanıtların ortaya çıktığı gösterilmiştir (20).

MS bağlamında, bağırsak–beyin–immün eksenindeki bozulmaların santral sinir sisteminde persistan inflamasyonun sürdürülmesine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (14).

Mikrobiyota kaynaklı proinflamatuvar sinyallerin periferik immün hücreleri aktive ederek santral sinir sistemine göçünü kolaylaştırabileceği ve böylece demiyelinizan süreçleri şiddetlendirebileceği öne sürülmektedir (21).

Deneysel otoimmün ensefalomiyelit modellerinde, mikrobiyotanın modülasyonunun nöroinflamasyonun şiddetini doğrudan etkileyebildiği gösterilmiştir. Özellikle disbiyotik mikrobiyota profillerinin ensefalomiyelit şiddetini artırdığı, buna karşılık mikrobiyota çeşitliliğinin korunmasının inflamatuvar yanıtları sınırlayabildiği bildirilmiştir (7).

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, bağırsak–beyin–immün ekseninin MS patogenezinde merkezi bir bağlantı noktası oluşturduğu ve periferik mikrobiyal sinyallerin santral nöroinflamatuvar süreçleri şekillendirebildiği anlaşılmaktadır (14). Dolayısıyla bu eksenin hedeflenmesi, MS'te nöroinflamasyonun kontrol altına alınmasına yönelik yeni ve tamamlayıcı terapötik stratejiler için güçlü bir biyolojik temel sunmaktadır (21).

5. PROBİYOTİK, PREBİYOTİK VE MİKROBİYOTA HEDEFLİ TEDAVİ YAKLAŞIMLARI

MS'te bağırsak mikrobiyotasının patogenezde rol oynadığının ortaya konması, mikrobiyotayı hedefleyen tedavi stratejilerine olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır (9). Bu yaklaşımlar arasında probiyotikler, prebiyotikler, diyet müdahaleleri ve fekal mikrobiyota transplantasyonu (FMT) yer almaktadır (14).

MS hastalarında probiyotik kullanımını değerlendiren klinik çalışmalarda, inflamatuvar sitokin profillerinde azalma ve antiinflamatuvar yanıtların güçlenmesi gibi immünolojik etkiler bildirilmiştir (22). Randomize kontrollü bir çalışmada, çoklu probiyotik preparat kullanımının MS hastalarında periferik inflamatuvar belirteçleri azalttığı gösterilmiştir (23).

Probiyotik müdahalelerin klinik sonuçlar üzerindeki etkisi ise daha sınırlı ve heterojen bulgular sunmaktadır. Bazı çalışmalarda yorgunluk ve yaşam kalitesi skorlarında iyileşme rapor edilirken, manyetik rezonans görüntüleme bulguları ve atak sıklığı üzerindeki etkiler tutarlı değildir (22). Bu durum, probiyotiklerin MS'te destekleyici bir yaklaşım olabileceğini, ancak tek başına hastalık modifiye edici tedavi olarak değerlendirilmemesi gerektiğini düşündürmektedir (9).

Prebiyotikler, bağırsakta yararlı mikroorganizmaların büyümesini ve metabolik aktivitesini seçici olarak destekleyen sindirilemeyen besin bileşenleri olarak tanımlanmaktadır (24). Prebiyotiklerin kısa zincirli yağ asidi üretimini artırarak immün toleransı destekleyebileceği ve sistemik inflamasyonu azaltabileceği öne sürülmüştür (12). Ancak MS özelinde prebiyotik müdahaleleri değerlendiren klinik çalışmaların sayısı sınırlı olup, mevcut kanıtlar henüz net klinik öneriler oluşturmak için yeterli değildir (24).

Diyet müdahaleleri de mikrobiyota kompozisyonunu dolaylı olarak etkileyen önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Liften zengin ve antiinflamatuvar özelliklere sahip diyetlerin bağırsak mikrobiyota çeşitliliğini artırabileceği ve inflamatuvar yanıtları baskılayabileceği bildirilmiştir (25). MS hastalarında diyet–mikrobiyota ilişkisini inceleyen çalışmalar, diyet bileşenlerinin mikrobiyota profili ve bağışıklık yanıtları üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir (16).

Fekal mikrobiyota transplantasyonu (FMT), sağlıklı donörlerden elde edilen mikrobiyotanın hastaya aktarılması yoluyla disbiyozun düzeltilmesini amaçlayan bir yaklaşımdır (26). MS'te FMT kullanımı henüz deneysel aşamada olup, sınırlı vaka raporları ve küçük gözlemsel çalışmalarla değerlendirilmiştir (27). Bu nedenle FMT'nin MS tedavisindeki etkinliği ve güvenliği konusunda güçlü klinik kanıtlar henüz bulunmamaktadır (9).

Genel olarak değerlendirildiğinde, mikrobiyota hedefli tedavi yaklaşımları MS'te immün modülasyon açısından umut verici olmakla birlikte, mevcut klinik kanıtlar sınırlı ve heterojendir (22). Bu yaklaşımların klinik pratiğe güvenle entegre edilebilmesi için daha büyük örneklemli, uzun dönemli ve standartlaştırılmış randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır (9).

6. HASTALIK MODİFİYE EDİCİ TEDAVİLER VE MİKROBİYOTA ETKİLEŞİMİ

MS tedavisinde kullanılan hastalık modifiye edici tedaviler (HMT'ler), inflamatuvar aktiviteyi baskılayarak atak sıklığını azaltmayı ve hastalık progresyonunu yavaşlatmayı amaçlamaktadır (2). Son yıllarda, bu tedavilerin yalnızca santral sinir sistemi ve periferik bağışıklık yanıtları üzerinde değil, aynı zamanda bağırsak mikrobiyotası üzerinde de etkiler gösterebileceği ileri sürülmüştür (9).

İnterferon beta tedavisi alan MS hastalarında bağırsak mikrobiyota kompozisyonunun, tedavi almayan hastalara kıyasla farklılık gösterebildiği bildirilmiştir (8). Bu çalışmada, interferon beta kullanan hastalarda bazı proinflamatuvar bakteri türlerinin göreceli olarak azaldığı, buna karşın immün toleransla ilişkili mikroorganizmaların arttığı gözlemlenmiştir (8).

Glatiramer asetat tedavisinin de bağırsak mikrobiyotası üzerinde düzenleyici etkiler gösterebileceği öne sürülmüştür. Glatiramer asetat kullanan MS hastalarında, mikrobiyota çeşitliliğinin kısmen arttığı ve antiinflamatuvar immün yanıtlarla ilişkili bakteri profillerinin baskın hale geldiği bildirilmiştir. Bu değişikliklerin, glatiramer asetatın Treg hücrelerini destekleyici etkileriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir (16).

Daha yeni nesil oral hastalık modifiye edici tedavilerle ilgili veriler ise sınırlıdır. Fingolimod ve dimetil fumarat gibi ajanların periferik immün hücre dağılımını belirgin şekilde değiştirdiği bilinmekle birlikte, bu değişikliklerin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkileri henüz net olarak ortaya konmamıştır (2). Mevcut sınırlı veriler, oral ajanların mikrobiyota kompozisyonunda dolaylı ve heterojen değişikliklere yol açabileceğini düşündürmektedir (9).

Monoklonal antikor temelli tedavilerde mikrobiyota etkileşimi konusu da henüz yeterince aydınlatılamamıştır. Natalizumab ve ocrelizumab gibi ajanların güçlü immün baskılayıcı etkilerine rağmen, bu tedavilerin bağırsak mikrobiyotasını doğrudan hedeflemediği ve gözlenen mikrobiyota değişikliklerinin büyük ölçüde ikincil immün modülasyon sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir (9). Bu alandaki çalışmaların çoğu gözlemsel olup, nedensel ilişkiyi ortaya koymak için yeterli değildir (8).

Hastalık modifiye edici tedaviler ile mikrobiyota arasındaki ilişkinin iki yönlü olabileceği de ileri sürülmektedir. Mikrobiyota kompozisyonunun, tedavi yanıtını ve ilaç toleransını etkileyebileceği; buna karşılık tedavilerin de mikrobiyota dengesini şekillendirebileceği düşünülmektedir (9). Ancak bu hipotezi doğrulayan prospektif ve mekanistik klinik çalışmalar henüz sınırlıdır (2).

Genel olarak değerlendirildiğinde, mevcut kanıtlar MS'te kullanılan hastalık modifiye edici tedavilerin bağırsak mikrobiyotası üzerinde dolaylı etkiler gösterebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, bu etkileşimlerin klinik sonuçlar üzerindeki anlamı henüz net değildir ve mikrobiyotanın tedavi yanıtını öngören bir biyobelirteç olarak kullanılabilmesi için ileri düzey, uzunlamasına çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (9).

7. FEKAL MİKROBİYOTA TRANSPLANTASYONU VE MULTİPLE SKLEROZ

Fekal mikrobiyota transplantasyonu (FMT), sağlıklı bir donörden elde edilen bağırsak mikrobiyotasının alıcıya aktarılması yoluyla disbiyozun düzeltilmesini amaçlayan bir tedavi yaklaşımıdır (26). FMT, özellikle *Clostridioides difficile* enfeksiyonlarında etkinliği kanıtlanmış bir yöntem olmakla birlikte, otoimmün ve nörolojik hastalıklardaki kullanımı halen araştırma aşamasındadır (30).

MS'da FMT uygulamalarına ilişkin ilk veriler sınırlı sayıda vaka raporu ve küçük gözlemsel çalışmalar ile elde edilmiştir. Bu erken raporlarda, FMT uygulanan bazı MS hastalarında gastrointestinal semptomlarda düzelme ve eş zamanlı olarak nörolojik semptomlarda stabilizasyon gözlendiği bildirilmiştir (27). Ancak bu bulgular kontrollü çalışmalarla doğrulanmamış olup, nedensel ilişki kurmak mümkün değildir (9).

Daha yakın tarihli gözlemsel bir çalışmada, FMT uygulanan MS hastalarında bağırsak mikrobiyota kompozisyonunda belirgin değişiklikler ve artmış mikrobiyal çeşitlilik rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, bazı hastalarda nörolojik fonksiyonlarda geçici stabilizasyon gözlenmiş olsa da, klinik etkinlik açısından tutarlı ve genellenebilir sonuçlar elde edilememiştir (28).

Deneysel otoimmün ensefalomiyelit modellerinde yapılan çalışmalar, mikrobiyota transferinin nöroinflamatuvar yanıtları belirgin şekilde etkileyebildiğini göstermiştir (7). Bu hayvan verileri, FMT'nin teorik olarak MS patogenezini modüle edebileceğini düşündürse de, bu bulguların insan çalışmalarına doğrudan aktarılması mümkün değildir (14).

Güvenlik açısından değerlendirildiğinde, FMT genel olarak iyi tolere edilmekle birlikte, immün sistemi baskılanmış hastalarda enfeksiyon riski ve beklenmeyen mikrobiyal geçişler gibi potansiyel komplikasyonlar söz konusudur (29). Bu durum, MS hastalarında FMT uygulamasının dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ve rutin klinik kullanıma uygun olmadığını göstermektedir (30).

Güncel kılavuzlar ve uzman görüşleri, FMT'nin MS tedavisinde deneysel bir yaklaşım olarak değerlendirilmesi gerektiğini ve yalnızca etik kurul onaylı klinik araştırmalar kapsamında uygulanmasının uygun olduğunu vurgulamaktadır (9). Mevcut veriler, FMT'nin MS'te etkinliğini ve güvenliğini destekleyecek düzeyde değildir ve bu alanda randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (14).

8. KLİNİK YANSIMALAR, SINIRLILIKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLER

Bağırsak mikrobiyotası ile immün sistem arasındaki etkileşimin MS patogenezinde önemli bir rol oynadığının gösterilmesi, hastalığın klinik yönetimine ilişkin yeni bakış açıları sunmuştur (9). Mevcut veriler, mikrobiyotanın yalnızca hastalığın bir sonucu değil, aynı zamanda inflamatuvar süreçleri modüle edebilen potansiyel bir düzenleyici olduğunu düşündürmektedir (14).

Klinik açıdan bakıldığında, mikrobiyota profillerinin hastalık aktivitesi, inflamatuvar belirteçler ve tedavi yanıtı ile ilişkili olabileceğine dair bulgular giderek artmaktadır (16). Bu durum, gelecekte mikrobiyota temelli biyobelirteçlerin hastalık prognozunun öngörülmesi ve kişiselleştirilmiş tedavi stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılabileceğini düşündürmektedir (8).

Bununla birlikte, mevcut literatürün önemli sınırlılıkları bulunmaktadır. MS'te mikrobiyotayı inceleyen çalışmaların büyük bir kısmı kesitsel tasarıma sahip olup, nedensel ilişki kurmaya olanak sağlamamaktadır (9). Ayrıca örneklem büyüklüklerinin sınırlı olması, kullanılan dizileme yöntemlerindeki heterojenlik ve diyet, ilaç kullanımı ile coğrafi farklılıklar gibi karıştırıcı faktörler sonuçların genellenebilirliğini azaltmaktadır (5).

Mikrobiyota hedefli tedavi yaklaşımlarına ilişkin klinik kanıtlar da şu aşamada sınırlıdır. Probiyotik, prebiyotik ve diyet müdahaleleri ile ilgili çalışmalar immünolojik parametrelerde bazı olumlu değişiklikler bildirse de, uzun dönem klinik sonuçlar ve hastalık progresyonu üzerindeki etkiler henüz net değildir (22). Fekal mikrobiyota transplantasyonu gibi daha invaziv yaklaşımlar ise deneysel düzeyde kalmakta ve rutin klinik kullanım için yeterli güvenlik ve etkinlik verisi bulunmamaktadır (30).

Gelecekte yapılacak çalışmaların, uzunlamasına ve çok merkezli tasarımlarla mikrobiyota değişikliklerinin hastalık seyri üzerindeki etkilerini daha net ortaya koyması gerekmektedir (9). Ayrıca metagenomik, metabolomik ve immün fenotipleme verilerinin entegre edildiği çok-omikli yaklaşımlar, mikrobiyota–immün sistem etkileşiminin mekanistik temellerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır (14).

Sonuç olarak, bağırsak mikrobiyotası MS patogenezinde umut verici bir araştırma alanı olmakla birlikte, mevcut kanıtlar mikrobiyota hedefli yaklaşımların klinik pratiğe doğrudan entegrasyonu için henüz yeterli değildir (9). Bu alandaki ilerlemeler, güçlü metodolojiye sahip klinik çalışmalarla desteklendiği takdirde, MS yönetiminde daha bireyselleştirilmiş ve bütüncül tedavi stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilir (2).

9. SONUÇ

Güncel deneysel ve klinik kanıtlar, bağırsak mikrobiyotası ile immün sistem arasındaki etkileşimin MS patogenezinde önemli bir düzenleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır (9). MS hastalarında bildirilen mikrobiyota disbiyozunun, proinflamatuvar bağışıklık yanıtlarının artışı ve immün toleransın bozulması ile ilişkili olabileceği gösterilmiştir (8). Bağırsak–beyin–immün ekseni aracılığıyla mikrobiyota kaynaklı sinyallerin santral nöroinflamatuvar süreçleri etkileyebildiğine dair bulgular, MS'in yalnızca santral sinir sistemiyle sınırlı bir hastalık olarak değerlendirilmemesi gerektiğini düşündürmektedir (14).

Mikrobiyota hedefli tedavi yaklaşımları umut verici olmakla birlikte, mevcut klinik veriler bu stratejilerin MS'te rutin kullanımı için henüz yeterli değildir ve ileri düzey, uzunlamasına klinik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (22).

KAYNAKÇA

1. Compston, A., & Coles, A. (2008). Multiple sclerosis. *The Lancet, 372*(9648), 1502–1517. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61620-7

2. Reich, D. S., Lucchinetti, C. F., & Calabresi, P. A. (2018). Multiple sclerosis. *The New England Journal of Medicine, 378*(2), 169–180. https://doi.org/10.1056/NEJMra1401483
3. Sawcer, S., Hellenthal, G., Pirinen, M., et al. (2011). Genetic risk and a primary role for cell-mediated immune mechanisms in multiple sclerosis. *Nature, 476*(7359), 214–219. https://doi.org/10.1038/nature10251
4. International Multiple Sclerosis Genetics Consortium. (2019). Multiple sclerosis genomic map implicates peripheral immune cells and microglia in susceptibility. *Science, 365*(6460), eaav7188. https://doi.org/10.1126/science.aav7188
5. Honda, K., & Littman, D. R. (2016). The microbiota in adaptive immune homeostasis and disease. *Nature, 535*(7610), 75–84. https://doi.org/10.1038/nature18848
6. Belkaid, Y., & Hand, T. W. (2014). Role of the microbiota in immunity and inflammation. *Cell, 157*(1), 121–141. https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.03.011
7. Berer, K., Mues, M., Koutrolos, M., et al. (2011). Commensal microbiota and myelin autoantigen cooperate to trigger autoimmune demyelination. *Nature, 479*(7374), 538–541. https://doi.org/10.1038/nature10554
8. Jangi, S., Gandhi, R., Cox, L. M., et al. (2016). Alterations of the human gut microbiome in multiple sclerosis. *Nature Communications, 7*, 12015. https://doi.org/10.1038/ncomms12015
9. Tremlett, H., Bauer, K. C., Appel-Cresswell, S., Finlay, B. B., & Waubant, E. (2017). The gut microbiome in human neurological disease: A review. *Annals of Neurology, 81*(3), 369–382. https://doi.org/10.1002/ana.24901
10. Hooper, L. V., Littman, D. R., & Macpherson, A. J. (2012). Interactions between the microbiota and the immune system. *Science, 336*(6086), 1268–1273. https://doi.org/10.1126/science.1223490
11. Arrieta, M. C., Bistritz, L., & Meddings, J. B. (2006). Alterations in intestinal permeability. *Gut, 55*(10), 1512–1520. https://doi.org/10.1136/gut.2005.085373
12. Koh, A., De Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., & Bäckhed, F. (2016). From dietary fiber to host physiology: Short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell, 165*(6), 1332–1345. https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.05.041
13. Smith, P. M., Howitt, M. R., Panikov, N., et al. (2013). The microbial metabolites, short-chain fatty acids, regulate colonic Treg cell homeostasis. *Science, 341*(6145), 569–573. https://doi.org/10.1126/science.1241165
14. Cryan, J. F., O'Riordan, K. J., Cowan, C. S. M., et al. (2019). The microbiota–gut–brain axis. *Physiological Reviews, 99*(4), 1877–2013. https://doi.org/10.1152/physrev.00018.2018
15. Cekanaviciute, E., Yoo, B. B., Runia, T. F., et al. (2017). Gut bacteria from multiple sclerosis patients modulate human T cells and exacerbate symptoms in mouse models. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114*(40), 10713–10718. https://doi.org/10.1073/pnas.1711235114
16. Tremlett, H., Fadrosh, D. W., Faruqi, A. A., et al. (2016). Gut microbiota composition and relapse risk in pediatric MS: A pilot study. *Journal of the Neurological Sciences, 363*, 153–157. https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.02.042

17. Carabotti, M., Scirocco, A., Maselli, M. A., & Severi, C. (2015). The gut–brain axis: Interactions between enteric microbiota, central and enteric nervous systems. *Annals of Gastroenterology*, *28*(2), 203–209.

18. Bonaz, B., Bazin, T., & Pellissier, S. (2018). The vagus nerve at the interface of the microbiota–gut–brain axis. *Frontiers in Neuroscience, 12*, 49. https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00049

19. Braniste, V., Al-Asmakh, M., Kowal, C., et al. (2014). The gut microbiota influences blood–brain barrier permeability in mice. *Science Translational Medicine, 6*(263), 263ra158. https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3009759

20. Erny, D., Hrabě de Angelis, A. L., Jaitin, D., et al. (2015). Host microbiota constantly control maturation and function of microglia. *Nature Neuroscience, 18*(7), 965–977. https://doi.org/10.1038/nn.4030

21. Correale, J., Hohlfeld, R., & Baranzini, S. E. (2022). The role of the gut microbiota in multiple sclerosis. *Nature Reviews Neurology, 18*(9), 544–558. https://doi.org/10.1038/s41582-022-00697-8

22. Tankou, S. K., Regev, K., Healy, B. C., et al. (2018). A probiotic modulates the microbiome and immunity in multiple sclerosis. *Annals of Neurology, 83*(6), 1147–1161. https://doi.org/10.1002/ana.25244

23. Kouchaki, E., Tamtaji, O. R., Salami, M., et al. (2017). Clinical and metabolic response to probiotic supplementation in patients with multiple sclerosis: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Clinical Nutrition, 36*(5), 1245–1249. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.08.015
(Retraction published 2025).

24. Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., et al. (2017). Expert consensus document: The ISAPP consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 14*(8), 491–502. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75

25. De Filippis, F., Pellegrini, N., Vannini, L., et al. (2016). High-level adherence to a Mediterranean diet beneficially impacts the gut microbiota and associated metabolome. *Gut, 65*(11), 1812–1821. https://doi.org/10.1136/gutjnl-2015-309957

26. Bakken, J. S., Borody, T., Brandt, L. J., et al. (2011). Treating *Clostridium difficile* infection with fecal microbiota transplantation. *Clinical Gastroenterology and Hepatology, 9*(12), 1044–1049. https://doi.org/10.1016/j.cgh.2011.08.014

27. Borody, T., Leis, S., Campbell, J., Torres, M., & Nowak, A. (2011). Fecal microbiota transplantation (FMT) in multiple sclerosis (MS). *American Journal of Gastroenterology, 106*(Suppl.), S352.

28. Makkawi, S., Camara-Lemarroy, C., & Metz, L. (2018). Fecal microbiota transplantation associated with 10 years of stability in a patient with SPMS. *Neurology: Neuroimmunology & Neuroinflammation, 5*(4), e459. https://doi.org/10.1212/NXI.0000000000000459

29. DeFilipp, Z., Bloom, P. P., Torres Soto, M., et al. (2019). Drug-resistant *Escherichia coli* bacteremia transmitted by fecal microbiota transplant. *The New England Journal of Medicine, 381*(21), 2043–2050. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1910437

30. Cammarota, G., Ianiro, G., Tilg, H., et al. (2017). European consensus conference on faecal microbiota transplantation in clinical practice. *Gut, 66*(4), 569–580. https://doi.org/10.1136/gutjnl-2016-313017

CRISPR–CAS SYSTEMS AND ANTIMICROBIAL RESISTANCE: MECHANISMS, CHALLENGES, AND CLINICAL POTENTIAL

Dr. Öğr. Üyesi Sevil ÖZTAŞ
Karabük Üniversitesi
seviloztas@karabuk.edu.tr - 0000-0002-4134-1587

ABSTRACT

Clustered regularly interspaced short palindromic repeats (CRISPR) and CRISPR-associated (Cas) systems constitute adaptive immune mechanisms that enable bacteria and archaea to defend against invading mobile genetic elements, including bacteriophages and plasmids. Since their initial discovery, CRISPR–Cas systems have been recognized not only as fundamental components of microbial immunity but also as key regulators of horizontal gene transfer, microbial evolution, and genome stability. Growing evidence indicates that CRISPR–Cas activity may significantly influence the acquisition, maintenance, and dissemination of antimicrobial resistance genes among bacterial populations.

In recent years, the relationship between CRISPR–Cas systems and antimicrobial resistance has attracted increasing attention. While CRISPR-mediated interference can limit the uptake of resistance-conferring plasmids, the absence or inactivation of CRISPR–Cas systems has been associated with enhanced plasmid acquisition and multidrug resistance in several clinically relevant pathogens. Moreover, the evolutionary arms race between bacteria and bacteriophages, including the emergence of anti-CRISPR proteins, further shapes microbial diversity and resistance dynamics.

Here, the structural features and molecular mechanisms of CRISPR–Cas systems are comprehensively reviewed, with particular emphasis on their roles in bacterial adaptive immunity and their impact on antimicrobial resistance. In addition, current and emerging clinical and biotechnological applications of CRISPR–Cas technologies, including diagnostic approaches and targeted antimicrobial strategies, are critically evaluated. Finally, the limitations, safety concerns, and future perspectives of CRISPR–Cas–based approaches in clinical microbiology are discussed from a critical standpoint.

Understanding the dual role of CRISPR–Cas systems as both natural barriers to horizontal gene transfer and potential tools for combating antimicrobial resistance may pave the way for innovative and precise antimicrobial interventions.

Keywords: CRISPR–Cas systems; Antimicrobial resistance; Bacterial adaptive immunity; Horizontal gene transfer; Phage–bacteria interactions

CRISPR–CAS SİSTEMLERİ VE ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ: MEKANİZMALAR, ZORLUKLAR VE KLİNİK POTANSİYEL

ÖZET

Düzenli aralıklarla dizilmiş kısa palindromik tekrar dizileri (CRISPR) ve CRISPR ile ilişkili (Cas) proteinlerden oluşan CRISPR–Cas sistemleri, bakteri ve arkelerde bakteriyofajlar ve plazmidler gibi hareketli genetik elemanlara karşı savunma sağlayan adaptif immün mekanizmalardır. İlk keşiflerinden bu yana CRISPR–Cas sistemlerinin yalnızca mikrobiyal immünitenin temel bileşenleri olmadığı; aynı zamanda yatay gen transferinin düzenlenmesi, mikrobiyal evrim ve genom stabilitesi üzerinde de belirleyici rol oynadığı anlaşılmıştır. Artan sayıda çalışma, CRISPR–Cas aktivitesinin bakteriyel popülasyonlarda antimikrobiyal direnç genlerinin kazanımı, korunması ve yayılımını önemli ölçüde etkileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Son yıllarda CRISPR–Cas sistemleri ile antimikrobiyal direnç arasındaki ilişki giderek daha fazla ilgi çekmektedir. CRISPR aracılı interferans mekanizmalarının, direnç genlerini taşıyan plazmidlerin hücre içine alımını sınırlayabildiği; buna karşılık CRISPR–Cas sistemlerinin bulunmadığı ya da işlevsiz olduğu bakterilerde plazmid kazanımının ve çoklu ilaç direncinin daha sık görüldüğü bildirilmiştir. Ayrıca bakteri–faj arasındaki evrimsel silahlanma yarışı ve anti-CRISPR proteinlerinin ortaya çıkışı, mikrobiyal çeşitliliği ve direnç dinamiklerini şekillendiren önemli faktörler olarak değerlendirilmektedir.

Burada, CRISPR–Cas sistemlerinin yapısal özellikleri ve moleküler mekanizmaları kapsamlı biçimde ele alınmakta; özellikle bakteriyel adaptif immünitedeki rolleri ve antimikrobiyal direnç üzerindeki etkileri tartışılmaktadır. Ayrıca CRISPR–Cas teknolojilerinin tanı amaçlı uygulamaları ve hedefe yönelik antimikrobiyal stratejiler dâhil olmak üzere güncel ve potansiyel klinik ve biyoteknolojik kullanım alanları değerlendirilmektedir. Son olarak, CRISPR–Cas temelli yaklaşımların klinik mikrobiyolojideki sınırlılıkları, güvenlik kaygıları ve geleceğe yönelik perspektifleri eleştirel bir bakış açısıyla ele alınmaktadır.

CRISPR–Cas sistemlerinin, yatay gen transferine karşı doğal bir bariyer olmanın yanı sıra antimikrobiyal dirençle mücadelede yenilikçi araçlar olarak da değerlendirilmesi, daha hedefe yönelik ve hassas antimikrobiyal müdahalelerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: CRISPR–Cas sistemleri; antimikrobiyal direnç; bakteriyel adaptif immünite; yatay gen transferi; faj–bakteri etkileşimi

1. GİRİŞ

Antimikrobiyal direnç (AMR), enfeksiyon hastalıklarının önlenmesi ve tedavisinde kullanılan antibiyotiklerin etkinliğini azaltarak küresel ölçekte ciddi bir halk sağlığı tehdidi hâline gelmiştir (1, 2). Dünya Sağlık Örgütü, AMR'nin kontrol altına alınmaması durumunda enfeksiyonlara bağlı mortalite ve morbiditenin belirgin biçimde artacağını ve sağlık sistemleri üzerinde ciddi bir yük oluşturacağını bildirmektedir (3). Son yıllarda çok ilaca dirençli (ÇİD) ve pan-dirençli bakterilerin hızla yayılması, tedavi başarısızlıklarının artmasına yol açmaktadır. Önceden, ÇİD bakteriler yalnızca hastane kaynaklı enfeksiyonlarla ilişkilendirilirken günümüzde yayılmış ve artık toplum kaynaklı enfeksiyonların önde gelen nedenlerinden biri olmuştur. Toplumda ÇİD bakterilerin yayılması, morbidite, mortalite, sağlık harcamaları ve antibiyotik kullanımında artışa yol açmaktadır (4).

Antimikrobiyal direncin ortaya çıkışında antibiyotiklerin aşırı ve uygunsuz kullanımı önemli bir faktör olmakla birlikte, direnç genlerinin bakteriler arasında yayılımı en az bu kullanım kadar belirleyici bir rol oynamaktadır (5, 6). Bakteriler, direnç genlerini yalnızca kromozomal mutasyonlar yoluyla değil, aynı zamanda yatay gen transferi (YGT) mekanizmaları aracılığıyla da hızla kazanabilmektedir. YGT; konjugasyon, transformasyon ve transdüksiyon olmak üzere üç ana yol üzerinden gerçekleşmekte ve direnç genlerinin türler arası yayılımına yol açmaktadır (6). Plazmidler, transpozonlar ve integronlar gibi mobil genetik elemanlar, antimikrobiyal direnç genlerinin taşınması ve korunmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Bu genetik elemanlar sayesinde tek bir direnç determinantı, kısa sürede geniş bakteriyel popülasyonlara aktarılabilmektedir (7).

Mevcut antibiyotik geliştirme hızının, direnç gelişim hızının gerisinde kalması, klasik antimikrobiyal stratejilerin sürdürülebilirliğini sorgulanır hâle getirmiştir (8). Bu durum, yalnızca yeni antibiyotiklerin geliştirilmesini değil, aynı zamanda direnç genlerinin kazanımını ve yayılımını hedef alan yenilikçi yaklaşımların araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bakterilerin mobil genetik elemanlara karşı geliştirdiği doğal savunma sistemlerinin anlaşılması, antimikrobiyal dirençle mücadelede alternatif ve tamamlayıcı stratejiler geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir (9).

Bakterilerde adaptif bir savunma mekanizması olarak işlev gören CRISPR–Cas sistemleri, YGT'ne karşı potansiyel bir bariyer oluşturması nedeniyle son yıllarda antimikrobiyal direnç araştırmalarının odak noktalarından biri hâline gelmiştir (10).

2. CRISPR–Cas SİSTEMLERİNİN KEŞFİ VE TEMEL KAVRAMLAR

CRISPR dizileri ilk kez 1987 yılında *Escherichia coli* genomunda tanımlanmış, ancak bu tekrar dizilerinin biyolojik işlevi uzun süre anlaşılamamıştır (11). Bu tekrar dizilerinin, düzenli aralıklarla yerleşmiş kısa palindromik tekrarlar ve bu tekrarlar arasında bulunan değişken dizilerden oluştuğu daha sonraki genom analizleriyle ortaya konmuştur. CRISPR dizileri, başlangıçta genom organizasyonuna ait sıra dışı yapılar olarak değerlendirilmiş ve fonksiyonel açıdan önemsiz kabul edilmiştir. 1990'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başında farklı bakteri ve arke genomlarında yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, CRISPR dizilerinin prokaryotlar arasında yaygın olduğunu göstermiştir. Bu dizilerin çoğunlukla korunmuş Cas genleri ile birlikte bulunması, CRISPR ve Cas proteinlerinin işlevsel bir bütün oluşturabileceği fikrini

güçlendirmiştir (12). Cas genlerinin, nükleaz ve helikaz benzeri proteinleri kodlaması, CRISPR sistemlerinin nükleik asit temelli bir savunma mekanizması olabileceğine işaret etmiştir. CRISPR dizileri arasındaki spacer bölgelerinin kökenine ilişkin ilk önemli ipuçları, bu dizilerin bakteriyofajlar ve plazmidlere ait sekanslarla benzerlik göstermesiyle elde edilmiştir. Bu gözlem, spacer dizilerinin bakterilerin daha önce karşılaştıkları yabancı genetik elementlerden türediği hipotezini ortaya koymuştur. 2005 yılında yapılan bağımsız çalışmalar, spacer dizileri ile faj genomları arasındaki dizisel benzerliği sistematik olarak göstererek bu hipotezi güçlendirmiştir (13, 14).

CRISPR–Cas sistemlerinin bakteriyel savunmadaki rolü ilk kez 2007 yılında yapılan deneysel çalışmalarla doğrudan kanıtlanmıştır (15). Bu çalışmalarda, CRISPR dizilerine yeni spacer eklenmesinin bakterilere belirli fajlara karşı direnç kazandırdığı gösterilmiştir. Aynı zamanda, spacer dizileri ile faj genomları arasındaki dizi özgüllüğünün, savunmanın etkinliği için gerekli olduğu ortaya konmuştur. Bu bulgular, CRISPR–Cas sistemlerinin bakterilerde adaptif immünite sağlayan özgün bir mekanizma olduğu fikrinin kabul edilmesine yol açmıştır (16). CRISPR–Cas sistemleri, restriksiyon–modifikasyon sistemlerinden farklı olarak, geçmiş enfeksiyonlara ait genetik bilgiyi depolayabilmeleri nedeniyle "immün hafıza" kavramıyla ilişkilendirilmiştir (17). Bu özellik, CRISPR–Cas sistemlerini prokaryotlarda tanımlanan en sofistike savunma mekanizmalarından biri hâline getirmiştir. Terminolojik olarak CRISPR, "Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats" ifadesinin kısaltmasıdır ve genomda tekrar eden palindromik dizileri tanımlar. Cas (CRISPR-associated) proteinleri ise CRISPR lokuslarıyla ilişkili olup, sistemin adaptasyon, ekspresyon ve interferans aşamalarında görev alan fonksiyonel proteinlerdir. CRISPR ve Cas bileşenlerinin birlikte çalışması, yabancı DNA'nın tanınması ve hedefe özgül olarak parçalanmasını mümkün kılar (18).

Günümüzde CRISPR–Cas sistemleri yalnızca bakteriyel savunma mekanizmaları olarak değil, aynı zamanda YGT'nin düzenlenmesi ve genom stabilitesinin korunmasında etkili evrimsel araçlar olarak değerlendirilmektedir. Bu sistemlerin varlığı veya yokluğu, bakterilerin çevresel baskılara uyum sağlama kapasitesini ve direnç genlerini kazanma eğilimini doğrudan etkileyebilmektedir (19, 20).

3. CRISPR–Cas SİSTEMLERİNİN MOLEKÜLER MEKANİZMASI

CRISPR–Cas sistemleri, yabancı genetik elementlere karşı savunmayı sağlayan moleküler mekanizmalarını üç temel aşamada gerçekleştirir: adaptasyon (spacer kazanımı), CRISPR RNA ekspresyonu ve interferans. Bu üç aşama, sistemin hem immün hafıza oluşturmasını hem de hedefe özgül nükleik asit yıkımını sağlar (21, 22).

3.1. Adaptasyon (Spacer Kazanımı)

Adaptasyon aşaması, bakterinin karşılaştığı yabancı genetik materyalin kısa bir bölümünün seçilerek CRISPR lokusuna entegre edilmesi sürecini ifade eder (23). Bu aşamada Cas1 ve Cas2 proteinleri, çoğu CRISPR–Cas sisteminde korunan temel adaptasyon kompleksini oluşturur (24). Cas1–Cas2 kompleksi, bakteriyofaj veya plazmid DNA'sından seçilen protospacer dizilerini tanıyarak CRISPR dizisinin lider ucuna entegre eder (25). Spacer entegrasyonu, CRISPR dizilerinde zamansal bir kayıt oluşturacak biçimde, genellikle lider bölgeye en yakın konumda gerçekleşir (25, 26). Bu düzenleme, bakterinin en son karşılaştığı genetik tehditlere

öncelikli yanıt verebilmesini sağlar (26). Adaptasyon sürecinde protospacer adjacent motif (PAM) olarak adlandırılan kısa korunmuş diziler, yabancı DNA'nın kendi CRISPR lokusundan ayırt edilmesinde kritik rol oynar (27). PAM tanıma mekanizması, bakterinin kendi genomunu hedef almasını engelleyerek otoimmünite riskini azaltır (27, 28). Bu seçicilik, CRISPR–Cas sistemlerinin güvenli ve sürdürülebilir bir savunma mekanizması olarak işlev görmesini sağlar (22). Bazı CRISPR–Cas tiplerinde adaptasyon süreci, interferans aşamasıyla fonksiyonel olarak bağlantılı olup "primed adaptation" olarak adlandırılan mekanizmalarla güçlendirilebilir (29).

3.2. CRISPR RNA Ekspresyonu ve İşlenmesi

CRISPR lokusu, adaptasyon aşamasından sonra tek bir uzun öncül RNA (pre-crRNA) olarak transkribe edilir (30). Bu uzun transkript, sistemin tipine bağlı olarak Cas proteinleri veya yardımcı RNA'lar aracılığıyla olgun crRNA'lara parçalanır (30, 31). Tip I ve Tip III sistemlerde crRNA işlenmesi çoğunlukla Cas6 benzeri endoribonükleazlar tarafından gerçekleştirilir (31). Tip II CRISPR–Cas sistemlerinde ise crRNA işlenmesi, tracrRNA ve RNase III etkileşimine bağlı olarak gerçekleşir (32). Bu mekanizma, Cas9'un hedef DNA'yı tanıyabilmesi için gerekli olan fonksiyonel kılavuz RNA kompleksinin oluşmasını sağlar (32, 33). crRNA'ların her biri, yabancı genetik elemente özgü tek bir spacer dizisi içererek hedef özgüllüğü kazandırır (21). crRNA–Cas protein komplekslerinin oluşumu, sistemin interferans aşamasına geçebilmesi için zorunludur (22). Bu komplekslerin yapısal stabilitesi ve dizisel özgüllüğü, savunma etkinliğini doğrudan belirler (33).

3.3. İnterferans Aşaması

İnterferans aşaması, CRISPR–Cas sistemlerinin savunma fonksiyonunun doğrudan icra edildiği basamaktır (21). Bu aşamada crRNA ile yönlendirilen Cas efektör proteinleri, hücre içine giren yabancı nükleik asitleri dizi özgüllüğü temelinde tanır (22). Hedef tanıma süreci, crRNA spacer dizisi ile hedef DNA veya RNA arasındaki baz eşleşmesine dayanır (34). Tip I ve Tip II CRISPR–Cas sistemleri esas olarak DNA hedeflerken, Tip III ve Tip VI sistemler RNA hedefli interferans gerçekleştirebilmektedir (35, 36). Cas9, Cas12 ve Cas13 gibi efektör proteinler, farklı nükleik asit hedefleri ve kesim mekanizmaları ile sistemler arasında fonksiyonel çeşitlilik sağlar (37-39).

Hedef nükleik asidin çift iplikli kesimi veya parçalanması, faj replikasyonunun veya plazmid stabilitesinin bozulmasına yol açar (34). İnterferans sürecinin başarısı, PAM dizilerinin doğru tanınmasına ve crRNA–hedef uyumunun yüksek olmasına bağlıdır (27, 34). Bu özgüllük, CRISPR–Cas sistemlerinin YGT'ne karşı etkili bir bariyer oluşturmasının temel nedenlerinden biridir (19). Ancak bazı fajlar ve mobil genetik elementler, hedef dizilerde mutasyonlar geliştirerek veya anti-CRISPR proteinleri üreterek interferanstan kaçınabilmektedir (40, 41).

3.4. Moleküler Mekanizmanın Antimikrobiyal Dirençle İlişkisi

CRISPR–Cas aracılı interferans, direnç genlerini taşıyan plazmidlerin hücre içinde stabil olarak tutulmasını engelleyebilir (19). Bu durum, antimikrobiyal direnç genlerinin bakteriyel popülasyonlarda yayılım hızını azaltabilir (19, 42). CRISPR–Cas sistemlerinin aktif olduğu bakterilerde, ÇİD ile CRISPR varlığı arasında ters yönlü bir ilişki bildirilmiştir (20, 43). Ayrıca bazı bakterilerin direnç kazanımı karşılığında CRISPR–Cas sistemlerini kaybettiği veya

inaktive ettiği gösterilmiştir (20, 44). Bu durum, CRISPR–Cas sistemlerinin moleküler düzeyde bir savunma avantajı sağlarken, evrimsel uyum açısından dezavantajlı olabileceğini düşündürmektedir (44, 45).

4. BAKTERİ–FAJ ETKİLEŞİMİ, ANTI-CRISPR PROTEİNLERİ VE DİRENÇ DİNAMİKLERİ

Bakteriler ve bakteriyofajlar arasındaki etkileşim, mikrobiyal ekosistemlerin evrimsel dinamiklerini şekillendiren en eski ve en güçlü seçilim baskılarından biri olarak kabul edilmektedir (46, 47). Bu etkileşim, karşılıklı adaptasyon süreçleri ile karakterize edilen bir "evrimsel silahlanma yarışı" çerçevesinde değerlendirilmektedir. Bakteriyofajların bakteriyel popülasyonlar üzerindeki baskısı, savunma sistemlerinin evrimini hızlandırırken, bakterilerin geliştirdiği savunma mekanizmaları da fajların karşı stratejiler geliştirmesine yol açmaktadır (46, 48).

4.1. CRISPR–Cas Sistemlerinin Faj Savunmasındaki Rolü

CRISPR–Cas sistemleri, bakterilerin faj enfeksiyonlarına karşı geliştirdiği en özgül ve adaptif savunma mekanizmalarından biridir. Bu sistemler, daha önce karşılaşılan fajlara ait genetik bilgiyi CRISPR dizilerinde depolayarak tekrar eden enfeksiyonlara karşı hızlı ve etkili bir yanıt oluşturabilmektedir. CRISPR–Cas aracılı savunma, faj genomunun hücre içine girmesinden sonra interferans yoluyla replikasyonun durdurulmasını sağlar (21). CRISPR–Cas sistemlerinin fajlara karşı etkinliği, spacer–hedef dizisi uyumuna ve PAM motiflerinin doğru tanınmasına bağlıdır (28). Bu yüksek özgüllük, bakterilerin yalnızca hedeflenen fajlara karşı savunma geliştirmesine olanak tanır (21, 28). Ancak bu özgüllük aynı zamanda fajların hedef dizilerde mutasyon geliştirerek CRISPR tanımasından kaçmasına da zemin hazırlayabilmektedir (49).

4.2. Anti-CRISPR Proteinleri ve Mekanizmaları

Bakteriyofajların CRISPR–Cas savunmasını aşmak için geliştirdiği stratejilerden biri, anti-CRISPR (Acr) proteinlerinin üretimidir (40, 50). Anti-CRISPR proteinleri ilk kez *Pseudomonas aeruginosa* fajlarında tanımlanmış ve CRISPR–Cas aktivitesini doğrudan inhibe edebildikleri gösterilmiştir (50). Bu proteinler, Cas efektör proteinlerine bağlanarak hedef tanıma veya nükleik asit kesim basamaklarını engelleyebilmektedir (40). Anti-CRISPR proteinleri, yapısal ve fonksiyonel açıdan oldukça çeşitlidir ve farklı CRISPR–Cas tiplerini hedefleyebilmektedir (40, 51). Bazı anti-CRISPR proteinleri Cas proteinlerinin DNA'ya bağlanmasını engellerken, bazıları nükleaz aktivitesini doğrudan bloke etmektedir (40). Bu çeşitlilik, fajların CRISPR–Cas sistemlerine karşı çok yönlü kaçış stratejileri geliştirdiğini göstermektedir (51).

4.3. Evrimsel Silahlanma Yarışı ve Seçilim Baskısı

Bakteri–faj etkileşimleri, CRISPR–Cas sistemlerinin evrimsel stabilitesini doğrudan etkilemektedir (46, 48). CRISPR–Cas sistemleri, faj baskısının yoğun olduğu ortamlarda güçlü bir seçilim avantajı sağlarken, faj baskısının az olduğu veya antibiyotik baskısının yoğun olduğu ortamlarda dezavantajlı hâle gelebilmektedir (46, 52). Bu durum, CRISPR–Cas sistemlerinin bazı bakteriyel soy hatlarında korunurken bazılarında kaybolmasını açıklamaktadır (52). Anti-CRISPR proteinlerinin yaygınlığı, CRISPR–Cas sistemlerinin evrimsel sınırlarını ortaya koymaktadır (40, 51). Fajların CRISPR savunmasını etkisiz hâle

getirebilmesi, bakterilerin ek savunma mekanizmaları geliştirmesine veya CRISPR repertuarını sürekli güncellemesine neden olmaktadır (46, 49). Bu dinamik süreç, mikrobiyal popülasyonlarda genetik çeşitliliğin korunmasına katkıda bulunmaktadır (46, 47).

4.4. Direnç Dinamikleri Üzerine Dolaylı Etkiler

Bakteri–faj etkileşimleri ve anti-CRISPR proteinleri, antimikrobiyal direnç dinamiklerini dolaylı ancak anlamlı biçimde etkileyebilmektedir (53, 54). CRISPR–Cas sistemlerinin faj savunmasına yönelmesi, aynı sistemlerin plazmid aracılı direnç genlerini hedefleme kapasitesini sınırlayabilir. Bu durum, bakterilerin CRISPR sistemlerini direnç genleri yerine fajlara karşı kullanma yönünde evrimsel tercihler yapmasına yol açabilmektedir (52).

Ayrıca faj aracılı YGT, direnç genlerinin yayılımında önemli bir rol oynayabildiğinden, CRISPR–faj etkileşimi dolaylı olarak antimikrobiyal direnç yükünü şekillendirmektedir (54, 55). CRISPR–Cas sistemleri, direnç genlerini doğrudan hedeflemenin yanı sıra faj ekolojisi üzerinden de direnç yayılımını etkileyen karmaşık düzenleyiciler olarak değerlendirilmektedir (52, 54).

5. CRISPR–Cas TEMELLİ ANTİMİKROBİYAL STRATEJİLER VE KLİNİK POTANSİYEL

Klasik antibiyotiklerin çoğu, bakteriyel hücrenin yaşamsal süreçlerini geniş spektrumlu ve özgüllüğü sınırlı biçimde hedef almaktadır (56). Bu durum, hedef dışı etkiler, mikrobiyotanın bozulması ve dirençli alt popülasyonların seçilimi gibi istenmeyen sonuçlara yol açmaktadır (57).
CRISPR–Cas temelli yaklaşımlar ise, dizisel özgüllük sayesinde yalnızca belirli genleri veya bakteriyel soyları hedefleyebilme potansiyeli sunmaktadır (58, 59).

5.1. Hedefe Yönelik Antimikrobiyal Stratejiler

CRISPR–Cas sistemleri, antimikrobiyal direnç genlerini doğrudan hedefleyerek bakteriyel hücre içinde genetik hasar oluşturmak amacıyla yeniden programlanabilmektedir. Bu yaklaşımda, direnç genlerine özgül kılavuz RNA'lar kullanılarak Cas nükleazlarının yalnızca istenen genetik hedefleri kesmesi sağlanmaktadır (58, 59). Direnç genlerinin hedeflenmesi, bakterinin antibiyotiklere yeniden duyarlı hâle gelmesine yol açabilmektedir (58).

CRISPR–Cas aracılı kesim, hedeflenen bakterilerde çift iplikli DNA hasarına neden olarak hücresel ölümle sonuçlanabilmektedir (59, 60). Bu etki, özellikle plazmid üzerinde taşınan direnç genlerinin ortadan kaldırılmasında etkili bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Böylece CRISPR–Cas sistemleri, klasik antibiyotiklerden farklı olarak genetik düzeyde seçici antimikrobiyaller olarak işlev görebilmektedir (58, 59).

5.2. Tür ve Soy Özgüllüğü

CRISPR–Cas temelli antimikrobiyallerin en önemli avantajlarından biri, bakteri türü veya hatta belirli klonlar düzeyinde hedefleme yapabilme yeteneğidir. Bu özgüllük, patojen bakterilerin ortadan kaldırılırken kommensal mikrobiyotanın büyük ölçüde korunmasını mümkün kılmaktadır (58, 60). Mikrobiyota bütünlüğünün korunması, özellikle uzun süreli antibiyotik kullanımına bağlı komplikasyonların azaltılması açısından klinik olarak önemlidir (57). Soy

özgüllüğüne dayalı bu yaklaşım, hastane kaynaklı salgınların kontrolünde ve dirençli klonların selektif eliminasyonunda potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir (58, 60). Ancak bu düzeyde özgüllük, hedef dizilerdeki mutasyonlara karşı sistemin kırılgan olmasına da neden olabilmektedir (61).

5.3. CRISPR–Cas Sistemlerinin Taşınması ve Uygulama Zorlukları

CRISPR–Cas temelli antimikrobiyallerin klinik uygulamasındaki temel zorluklardan biri, sistemin bakteriyel hücrelere etkin ve güvenli biçimde taşınmasıdır. Bu amaçla bakteriyofajlar, faj benzeri partiküller ve konjugatif plazmidler taşıyıcı sistemler olarak değerlendirilmektedir (58, 59). Faj temelli taşıma sistemleri, hedef bakteri özgüllüğü sağlamaları nedeniyle özellikle dikkat çekmektedir (59). Bununla birlikte, faj konak aralığının sınırlı olması ve bağışıklık sisteminin fajlara karşı yanıt geliştirebilmesi klinik uygulamada engel oluşturabilmektedir (62). Ayrıca CRISPR–Cas sistemlerinin hedef dışı etkileri ve bakteriyel popülasyonlar üzerindeki uzun vadeli ekolojik sonuçları henüz tam olarak aydınlatılamamıştır (63).

5.4. Tanısal Uygulamalar ve Klinik Entegrasyon

CRISPR–Cas sistemleri yalnızca terapötik değil, aynı zamanda tanısal amaçlarla da kullanılabilmektedir. Cas12 ve Cas13 proteinlerinin kollateral nükleik asit kesim aktiviteleri, direnç genlerinin hızlı ve yüksek özgüllükle tespit edilmesini sağlamıştır (64-66).

CRISPR tabanlı tanı platformları, klasik moleküler yöntemlere kıyasla daha hızlı ve saha uyumlu çözümler sunabilmektedir. Hızlı tanı, uygun antibiyotik seçiminin erken dönemde yapılmasını sağlayarak direnç gelişiminin önlenmesine katkıda bulunabilir. Bu nedenle CRISPR–Cas temelli tanı ve tedavi yaklaşımlarının birlikte kullanılması, bütüncül bir antimikrobiyal strateji olarak değerlendirilmektedir (66).

6. CRISPR–Cas TEMELLİ YAKLAŞIMLARIN SINIRLILIKLARI, GÜVENLİK KAYGILARI VE GELECEK YÖNELİMLER

CRISPR–Cas temelli antimikrobiyal yaklaşımlar, yüksek özgüllük ve programlanabilirlik sunmalarına rağmen klinik uygulamaya geçişte önemli sınırlılıklar barındırmaktadır (58). Bu sınırlılıkların başında, CRISPR–Cas sistemlerinin bakteriyel hücrelere etkin, güvenli ve hedefe özgül biçimde taşınmasının güçlüğü gelmektedir (58, 67). Mevcut taşıma stratejileri arasında bakteriyofajlar, faj türevli partiküller ve konjugatif sistemler yer almakla birlikte, bu yöntemlerin her biri konak aralığı, bağışıklık yanıtı ve üretim standardizasyonu açısından kısıtlamalara sahiptir (62, 67). Özellikle faj temelli taşıyıcıların dar konak spektrumu, heterojen klinik enfeksiyonlarda etkinliği sınırlayabilmektedir (62). CRISPR–Cas sistemlerinin hedef dışı (off-target) etkileri, klinik güvenlik açısından önemli bir endişe kaynağıdır. Yanlış hedeflenmiş DNA kesimleri, istenmeyen mutasyonlara veya bakteriyel stres yanıtlarının tetiklenmesine yol açabilmektedir (68). Bu durum, CRISPR–Cas temelli yaklaşımların terapötik kullanımında titiz hedef tasarımı ve kapsamlı güvenlik değerlendirmelerini zorunlu kılmaktadır (58, 68).

Bir diğer önemli sınırlılık, bakterilerin CRISPR–Cas temelli müdahalelere karşı direnç geliştirme potansiyelidir (49). Hedef dizilerde meydana gelen mutasyonlar veya anti-CRISPR proteinlerinin ekspresyonu, CRISPR aracılı antimikrobiyal etkinliği azaltabilmektedir (40, 49).

Bu durum, CRISPR–Cas sistemlerinin tek başına mutlak bir çözüm olarak değil, kombine stratejilerin bir parçası olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (40, 58).

Regülasyon ve etik boyutlar da CRISPR–Cas temelli antimikrobiyal uygulamaların klinik entegrasyonunda belirleyici faktörlerdir (63). Genetik müdahale içeren bu yaklaşımların çevresel etkileri, YGT üzerindeki uzun vadeli sonuçları ve biyogüvenlik riskleri henüz tam olarak aydınlatılmamıştır (63, 69).

Gelecekte CRISPR–Cas temelli stratejilerin, klasik antibiyotiklerle veya bakteriyofaj tedavileriyle kombine edilerek kullanılması daha gerçekçi ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (40, 58, 62). Bu bütüncül yaklaşımlar hem direnç gelişimini yavaşlatma hem de tedavi etkinliğini artırma potansiyeli taşımaktadır (40, 58).

Sonuç olarak, CRISPR–Cas sistemleri antimikrobiyal dirençle mücadelede güçlü ve yenilikçi araçlar sunmakla birlikte, klinik uygulamaya geçiş için teknik, biyolojik ve etik engellerin dikkatle ele alınması gerekmektedir (58, 63).

7. SONUÇ

CRISPR–Cas sistemleri, yatay gen transferini ve antimikrobiyal direnç genlerinin yayılımını hedefleyebilme potansiyelleri sayesinde antimikrobiyal dirençle mücadelede yenilikçi ve tamamlayıcı bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak mevcut veriler, bu sistemlerin klinik uygulamaya geçişinin; etkin ve güvenli taşıma, hedef dışı etkiler, bakteriyel kaçış mekanizmaları ile regülasyon ve biyogüvenlik gereklilikleri gibi önemli sınırlılıklarla karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Bu nedenle CRISPR–Cas temelli stratejilerin kısa vadede klasik antibiyotiklerin yerini alması yerine, hedefe yönelik antimikrobiyaller, bakteriyofaj tedavileri ve tanısal platformlarla entegre biçimde kullanılması daha gerçekçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte yapılacak translasyonel ve klinik çalışmalar, CRISPR–Cas teknolojilerinin antimikrobiyal direnç yönetimindeki gerçek potansiyelini ortaya koymada belirleyici olacaktır.

KAYNAKÇA

1. Prestinaci, F., Pezzotti, P., & Pantosti, A. (2015). Antimicrobial resistance: A global multifaceted phenomenon. *Pathogens and Global Health, 109*(7), 309–318. https://doi.org/10.1179/2047773215Y.0000000030
2. Holmes, A. H., Moore, L. S. P., Sundsfjord, A., Steinbakk, M., Regmi, S., Karkey, A., Guerin, P. J., & Piddock, L. J. V. (2016). Understanding the mechanisms and drivers of antimicrobial resistance. *The Lancet, 387*(10014), 176–187. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00473-0
3. World Health Organization. (n.d.). *Antimicrobial resistance* (Fact sheet). Retrieved December 25, 2025, from https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance
4. Bharadwaj, A., Rastogi, A., Pandey, S., Gupta, S., & Sohal, J. S. (2022). Multidrug-resistant bacteria: Their mechanism of action and prophylaxis. *BioMed Research International, 2022*, 5419874. https://doi.org/10.1155/2022/5419874
5. Economou, V., & Gousia, P. (2015). Agriculture and food animals as a source of antimicrobial-resistant bacteria. *Infection and Drug Resistance, 8*, 49–61. https://doi.org/10.2147/IDR.S55778

6. von Wintersdorff, C. J., Penders, J., van Niekerk, J. M., Mills, N. D., Majumder, S., van Alphen, L. B., Savelkoul, P. H. M., & Wolffs, P. F. G. (2016). Dissemination of antimicrobial resistance in microbial ecosystems through horizontal gene transfer. *Frontiers in Microbiology, 7*, 173. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00173
7. Partridge, S. R., Kwong, S. M., Firth, N., & Jensen, S. O. (2018). Mobile genetic elements associated with antimicrobial resistance. *Clinical Microbiology Reviews, 31*(4), e00088-17. https://doi.org/10.1128/CMR.00088-17
8. Lewis, K. (2013). Platforms for antibiotic discovery. *Nature Reviews Drug Discovery, 12*(5), 371–387. https://doi.org/10.1038/nrd3975
9. Muteeb, G., Rehman, M. T., Shahwan, M., & Aatif, M. (2023). Origin of antibiotics and antibiotic resistance, and their impacts on drug development: A narrative review. *Pharmaceuticals, 16*(11), 1615. https://doi.org/10.3390/ph16111615
10. Tao, S., Chen, H., Li, N., & Liang, W. (2022). The application of the CRISPR-Cas system in antibiotic resistance. *Infection and Drug Resistance, 15*, 4155–4168. https://doi.org/10.2147/IDR.S370869
11. Ishino, Y., Shinagawa, H., Makino, K., Amemura, M., & Nakata, A. (1987). Nucleotide sequence of the *iap* gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in *Escherichia coli*, and identification of the gene product. *Journal of Bacteriology, 169*(12), 5429–5433. https://doi.org/10.1128/jb.169.12.5429-5433.1987
12. Ishino, Y., Krupovic, M., & Forterre, P. (2018). History of CRISPR-Cas from encounter with a mysterious repeated sequence to genome editing technology. *Journal of Bacteriology, 200*(7), e00580-17. https://doi.org/10.1128/JB.00580-17
13. Makarova, K. S., Haft, D. H., Barrangou, R., Brouns, S. J. J., Charpentier, E., Horvath, P., Moineau, S., Mojica, F. J. M., Wolf, Y. I., Yakunin, A. F., van der Oost, J., & Koonin, E. V. (2011). Evolution and classification of the CRISPR-Cas systems. *Nature Reviews Microbiology, 9*(6), 467–477. https://doi.org/10.1038/nrmicro2577
14. Marraffini, L. A. (2015). CRISPR-Cas immunity in prokaryotes. *Nature, 526*(7571), 55–61. https://doi.org/10.1038/nature15386
15. Barrangou, R., et al. (2007). CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes. *Science, 315*(5819), 1709–1712. https://doi.org/10.1126/science.1138140
16. Schelling, M. A., Nguyen, G. T., & Sashital, D. G. (2023). CRISPR-Cas effector specificity and cleavage site determine phage escape outcomes. *PLOS Biology, 21*(4), e3002065. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002065
17. Koonin, E. V. (2019). CRISPR: A new principle of genome engineering linked to conceptual shifts in evolutionary biology. *Biology & Philosophy, 34*(1), 9. https://doi.org/10.1007/s10539-018-9658-7
18. Xu, Y., & Li, Z. (2020). CRISPR-Cas systems: Overview, innovations and applications in human disease research and gene therapy. *Computational and Structural Biotechnology Journal, 18*, 2401–2415. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.08.031
19. Marraffini, L. A., & Sontheimer, E. J. (2008). CRISPR interference limits horizontal gene transfer in staphylococci by targeting DNA. *Science, 322*(5909), 1843–1845. https://doi.org/10.1126/science.1165771
20. Palmer, K. L., & Gilmore, M. S. (2010). Multidrug-resistant enterococci lack CRISPR-cas. *mBio, 1*(4), e00227-10. https://doi.org/10.1128/mBio.00227-10
21. Barrangou, R., & Marraffini, L. A. (2014). CRISPR–Cas systems: Prokaryotes upgrade to adaptive immunity. *Molecular Cell, 54*(2), 234–244. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2014.03.011
22. Marraffini, L. A. (2015). CRISPR–Cas immunity in prokaryotes. *Nature, 526*(7571), 55–61. https://doi.org/10.1038/nature15386

23. Yosef, I., Goren, M. G., & Qimron, U. (2012). Proteins and DNA elements essential for spacer acquisition in CRISPR arrays. *Nucleic Acids Research, 40*(12), 5569–5576. https://doi.org/10.1093/nar/gks216
24. Nuñez, J. K., Lee, A. S. Y., Engelman, A., & Doudna, J. A. (2015). Integrase-mediated spacer acquisition during CRISPR–Cas adaptive immunity. *Nature, 519*(7542), 193–198. https://doi.org/10.1038/nature14237
25. Nuñez, J. K., Kranzusch, P. J., Noeske, J., Wright, A. V., Davies, C. W., & Doudna, J. A. (2014). Cas1–Cas2 complex formation mediates spacer acquisition. *Nature Structural & Molecular Biology, 21*(6), 528–534. https://doi.org/10.1038/nsmb.2820
26. Wei, Y., Terns, R. M., & Terns, M. P. (2015). Cas9 function and host genome sampling in CRISPR adaptation. *Genes & Development, 29*(4), 356–361. https://doi.org/10.1101/gad.257550.114
27. Mojica, F. J. M., Díez-Villaseñor, C., García-Martínez, J., & Almendros, C. (2009). Short motif sequences determine the targets of the prokaryotic CRISPR defence system. *Microbiology, 155*(3), 733–740. https://doi.org/10.1099/mic.0.023960-0
28. Anders, C., Niewoehner, O., Duerst, A., & Jinek, M. (2014). Structural basis of PAM-dependent target DNA recognition by Cas9. *Nature, 513*(7519), 569–573. https://doi.org/10.1038/nature13579
29. Datsenko, K. A., et al. (2012). Molecular memory of prior infections activates CRISPR/Cas adaptive immunity. *Nature Communications, 3*, 945. https://doi.org/10.1038/ncomms1937
30. Brouns, S. J. J., et al. (2008). Small CRISPR RNAs guide antiviral defense. *Science, 321*(5891), 960–964. https://doi.org/10.1126/science.1159689
31. Carte, J., et al. (2008). Cas6 is an endoribonuclease that processes pre-crRNA. *Genes & Development, 22*(24), 3489–3496. https://doi.org/10.1101/gad.1742908
32. Deltcheva, E., et al. (2011). CRISPR RNA maturation by tracrRNA and RNase III. *Nature, 471*(7340), 602–607. https://doi.org/10.1038/nature09886
33. Sashital, D. G., et al. (2014). RNA-induced conformational changes in CRISPR surveillance complexes. *Nature Structural & Molecular Biology, 21*(6), 528–534. https://doi.org/10.1038/nsmb.2843
34. Garneau, J. E., et al. (2010). The CRISPR/Cas bacterial immune system cleaves bacteriophage DNA. *Nature, 468*(7320), 67–71. https://doi.org/10.1038/nature09523
35. Hale, C. R., et al. (2009). RNA-guided RNA cleavage by CRISPR-Cas complexes. *Cell, 139*(5), 945–956. https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.07.040
36. Deng, L., et al. (2013). Type III CRISPR–Cas systems: RNA targeting. *Nature Reviews Microbiology, 11*(9), 606–617. https://doi.org/10.1038/nrmicro3077
37. Jinek, M., et al. (2012). A programmable dual-RNA–guided DNA endonuclease in adaptive immunity. *Science, 337*(6096), 816–821. https://doi.org/10.1126/science.1225829
38. Zetsche, B., et al. (2015). Cpf1 is a single RNA-guided endonuclease. *Cell, 163*(3), 759–771. https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.09.038
39. Abudayyeh, O. O., et al. (2016). C2c2 is a programmable RNA-guided RNA-targeting CRISPR effector. *Science, 353*(6299), aaf5573. https://doi.org/10.1126/science.aaf5573
40. Bondy-Denomy, J., et al. (2015). Multiple mechanisms for CRISPR–Cas inhibition by anti-CRISPR proteins. *Nature, 526*(7571), 136–139. https://doi.org/10.1038/nature15254
41. Pawluk, A., Davidson, A. R., & Maxwell, K. L. (2018). Anti-CRISPR: Discovery, mechanism and function. *Nature Reviews Microbiology, 16*(1), 12–17. https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.120

42. Touchon, M., & Rocha, E. P. C. (2010). The small, slow and specialized CRISPR and anti-CRISPR of *Escherichia coli*. *PLOS ONE, 5*(6), e11126. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011126
43. Gophna, U., Kristensen, D. M., Wolf, Y. I., Popa, O., Drevet, C., & Koonin, E. V. (2015). No evidence for inhibition of horizontal gene transfer by CRISPR–Cas on evolutionary timescales. *Environmental Microbiology, 17*(8), 2542–2550. https://doi.org/10.1111/1462-2920.12714
44. Jiang, W., et al. (2013). Dealing with the evolutionary downside of CRISPR immunity: Bacteria and beneficial plasmids. *PLOS Genetics, 9*(9), e1003844. https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003844
45. Weinberger, A. D., et al. (2012). Persisting viral sequences shape microbial CRISPR-based immunity. *PLOS Computational Biology, 8*(4), e1002475. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002475
46. Stern, A., & Sorek, R. (2011). The phage-host arms race: Shaping the evolution of microbes. *BioEssays, 33*(1), 43–51. https://doi.org/10.1002/bies.201000071
47. Suttle, C. A. (2005). Viruses in the sea. *Nature, 437*(7057), 356–361. https://doi.org/10.1038/nature04160
48. Buckling, A., & Rainey, P. B. (2002). Antagonistic coevolution between a bacterium and a bacteriophage. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 269*(1494), 931–936. https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1945
49. Deveau, H., Barrangou, R., Garneau, J. E., et al. (2008). Phage response to CRISPR-encoded resistance in *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Bacteriology, 190*(4), 1390–1400. https://doi.org/10.1128/JB.01412-07
50. Bondy-Denomy, J., Pawluk, A., Maxwell, K. L., & Davidson, A. R. (2013). Bacteriophage genes that inactivate the CRISPR/Cas bacterial immune system. *Nature, 493*(7432), 429–432. https://doi.org/10.1038/nature11723
51. Borges, A. L., Davidson, A. R., & Bondy-Denomy, J. (2017). The discovery, mechanisms, and evolutionary impact of anti-CRISPRs. *Annual Review of Virology, 4*(1), 37–59. https://doi.org/10.1146/annurev-virology-101416-041616
52. Gophna, U., Kristensen, D. M., Wolf, Y. I., Popa, O., Drevet, C., & Koonin, E. V. (2015). No evidence of inhibition of horizontal gene transfer by CRISPR-Cas on evolutionary timescales. *The ISME Journal, 9*(9), 2021–2027. https://doi.org/10.1038/ismej.2015.20
53. Debroas, D., & Siguret, C. (2019). Viruses as key reservoirs of antibiotic resistance genes in the environment. *The ISME Journal, 13*(11), 2856–2867. https://doi.org/10.1038/s41396-019-0478-9
54. Calero-Cáceres, W., & Muniesa, M. (2016). Persistence of naturally occurring antibiotic resistance genes in the bacteria and bacteriophage fractions of wastewater. *Water Research, 95*, 11–18.
55. Haaber, J., Leisner, J. J., Cohn, M. T., et al. (2016). Bacterial viruses enable their host to acquire antibiotic resistance genes from neighbouring cells. *Nature Communications, 7*, 13333. https://doi.org/10.1038/ncomms13333
56. Poole, K. (2002). Outer membranes and efflux: The path to multidrug resistance in Gram-negative bacteria. *Current Pharmaceutical Biotechnology, 3*(2), 77–98. https://doi.org/10.2174/1389201023378454
57. Becattini, S., Taur, Y., & Pamer, E. G. (2016). Antibiotic-induced changes in the intestinal microbiota and disease. *Trends in Molecular Medicine, 22*(6), 458–478. https://doi.org/10.1016/j.molmed.2016.04.003

58. Citorik, R. J., Mimee, M., & Lu, T. K. (2014). Sequence-specific antimicrobials using efficiently delivered RNA-guided nucleases. *Nature Biotechnology, 32*(11), 1141–1145. https://doi.org/10.1038/nbt.3011
59. Gomaa, A. A., Klumpe, H. E., Luo, M. L., Selle, K., Barrangou, R., & Beisel, C. L. (2014). Programmable removal of bacterial strains by use of genome-targeting CRISPR-Cas systems. *mBio, 5*(1), e00928-13. https://doi.org/10.1128/mBio.00928-13
60. Jiang, W., Bikard, D., Cox, D., Zhang, F., & Marraffini, L. A. (2013). RNA-guided editing of bacterial genomes using CRISPR-Cas systems. *Nature Biotechnology, 31*(3), 233–239. https://doi.org/10.1038/nbt.2508
61. Garneau, J. E., Dupuis, M. È., Villion, M., Romero, D. A., Barrangou, R., Boyaval, P., Fremaux, C., Horvath, P., Magadán, A. H., & Moineau, S. (2010). The CRISPR/Cas bacterial immune system cleaves bacteriophage and plasmid DNA. *Nature, 468*(7320), 67–71. https://doi.org/10.1038/nature09523
62. Keen, E. C. (2012). Phage therapy: Concept to cure. *Frontiers in Microbiology, 3*, 238. https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00238
63. Brokowski, C., & Adli, M. (2019). CRISPR ethics: Moral considerations for applications of a powerful tool. *Journal of Molecular Biology, 431*(1), 88–101. https://doi.org/10.1016/j.jmb.2018.05.044
64. Gootenberg, J. S., Abudayyeh, O. O., Lee, J. W., et al. (2017). Nucleic acid detection with CRISPR-Cas13a/C2c2. *Science, 356*(6336), 438–442. https://doi.org/10.1126/science.aam9321
65. Chen, J. S., Ma, E., Harrington, L. B., Da Costa, M., Tian, X., Palefsky, J. M., & Doudna, J. A. (2018). CRISPR-Cas12a target binding unleashes indiscriminate single-stranded DNase activity. *Science, 360*(6387), 436–439. https://doi.org/10.1126/science.aar6245
66. Kellner, M. J., Koob, J. G., Gootenberg, J. S., Abudayyeh, O. O., & Zhang, F. (2019). SHERLOCK: Nucleic acid detection with CRISPR nucleases. *Nature Protocols, 14*(10), 2986–3012. https://doi.org/10.1038/s41596-019-0210-2
67. Khambhati, K., Bhattacharjee, G., Gohil, N., et al. (2022). Phage engineering and phage-assisted CRISPR-Cas delivery to combat multidrug-resistant pathogens. *Bioengineering & Translational Medicine, 8*(2), e10381. https://doi.org/10.1002/btm2.10381
68. Jiang, F., & Doudna, J. A. (2017). CRISPR-Cas9 structures and mechanisms. *Annual Review of Biophysics, 46*, 505–529. https://doi.org/10.1146/annurev-biophys-062215-010822
69. Li, X., Gao, Y., Zhang, Z., et al. (2025). Biosafety considerations triggered by genome-editing technologies. *Biosafety and Health, 7*(3), 141–151. https://doi.org/10.1016/j.bsheal.2025.05.003

THEOBROMINE AS A NATURAL SCAFFOLD FOR ANTICANCER DRUG DESIGN: DOCKING AND ADMET-BASED INSIGHTS

Assist. Prof.Dr. Emine TERZİ
Ankara Yildirim Beyazit University Medical Faculty Medical Biology Department,
Email:eterzi@aybu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9106-3848
Assist. Prof.Dr. Beyza Ecem Öz Bedir
Ankara Yildirim Beyazit University Medical Faculty Medical Biology Department,
Email:beyzaecemozbedir@aybu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0596-834X

ABSTRACT

Theobromine, a natural methylxanthine found in cocoa, is a bioactive compound with antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer potential. Due to its ability to modulate signaling pathways involved in tumor development, theobromine has recently attracted increasing attention in cancer biology as a natural compound of interest. The aim of this study was to evaluate the anticancer potential of theobromine through molecular docking against apoptosis-related proteins and in silico ADMET analyses, and to integrate these findings with current literature. Docking studies were carried out using Caspase-3 and Caspase-7, two key enzymes in the apoptotic cascade. Protein structures were obtained from the RCSB PDB database, while theobromine was used as the ligand. Blind docking was performed via CB-Dock2, and the highest-scoring complexes were further analyzed. In addition, pharmacokinetic properties and toxicity profiles were predicted using ADMETlab 3.0. Docking analyses revealed stable interactions between theobromine and Caspase-3 (–5.2) as well as Caspase-7 (–6.9), suggesting a potential role in caspase-mediated apoptosis. ADMET predictions indicated that theobromine complies with Lipinski's rule of five, with a molecular weight of 180.06 Da, TPSA of 72.68 Å², logP of –0.441, and logS of –2.277, all within favorable ranges for drug-likeness and oral bioavailability. Moreover, predicted low toxicity and an acceptable solubility profile support its suitability as a lead scaffold for anticancer drug design. This study demonstrates that theobromine possesses a strong drug-likeness profile supported by in silico ADMET evaluation and exhibits binding affinity to caspase proteins, suggesting an apoptosis-inducing potential. Collectively, theobromine represents a valuable natural scaffold for the development of novel anticancer derivatives.

Keywords: Theobromine, Caspase-3/7, Docking, ADMET, Apoptosis, Anticancer potential

1. INTRODUCTION

Bioactive compounds of plant origin have become an important area of interest in cancer research in recent years due to their wide pharmacological effects and natural structures (Asma et al., 2022; Dar et al., 2023). Methylxanthines are among these natural compounds, notable for their antioxidant, anti-inflammatory, and cell proliferation-regulating properties. Theobromine, a methylxanthine derivative, is found in high concentrations in cocoa beans and is thought to be particularly effective on mechanisms involved in tumor formation and progression due to its ability to modulate various cellular signaling pathways (Figure 1) (Cadoná et al., 2022; Goya et al., 2022).

Apoptosis, one of the processes that play a critical role in cancer development, is a fundamental mechanism in maintaining cellular homeostasis, and disruption of this mechanism contributes to malignant transformation (Mustafa et al., 2024). Caspase-3 and Caspase-7, which are involved in the apoptosis process, are the main executioner caspases that cleave substrates necessary for the degradation of cellular components. Therefore, modulation of these enzymes is considered an important target in the development of next-generation anticancer agents (Cavalcante et al., 2019; Dhani et al., 2021; Mishra et al., 2018). Molecular modeling techniques, particularly molecular docking and in silico ADMET analyses, now allow for rapid and cost-effective assessment of the interaction profiles and pharmacokinetic properties of potential therapeutic molecules. These approaches provide valuable information to determine the binding affinity, drug-like properties, and potential toxicity risks of candidate compounds before proceeding to experimental studies.

In this context, the present study aimed to evaluate the anticancer potential of theobromine by conducting a comprehensive in silico ADMET study combined with molecular docking analyses against Caspase-3 and Caspase-7 enzymes. These analyses aimed to better understand theobromine's biological potential as a candidate molecule that can affect apoptosis pathways.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Admet Analysis

The physicochemical properties, medicinal chemistry attributes, and ADMET (Absorption, Distribution, Metabolism, Excretion, and Toxicity) profiles of the compound were predicted using the ADMETlab 3.0 server. The SMILES notation of Theobromine (Cn1cnc2c1c(=O)[nH]c(=O)n2C) was utilized as the input for the computational evaluation. The prediction modules assessed drug-likeness based on Lipinski’s Rule of Five and evaluated

toxicity risks using consensus models including Ames mutagenicity, hepatotoxicity, and hERG inhibition.

2.2. Molecular Docking Analysis

Caspase-3 and Caspase-7 protein structures were obtained in PDB format from the RCSB PDB database. Using Discovery Studio software, ligands and water molecules were removed from the protein structures, and the cleaned structures were saved in PDB format. Missing atoms were identified and repaired using AutoDock Tools. Polar hydrogen atoms were added, and Kollman charges were assigned (6.44 for Caspase-3, 14 for Caspase-7). The prepared proteins were saved in PDBQT format.

The 3D structure of Theobromine was retrieved in PDB format from the DrugBank database and converted using Open Babel GUI. The structure was energy-minimized using UCSF Chimera and saved in PDB format.

Blind docking simulations were performed using the CB-Dock2 web tool. The highest-scoring complexes were selected for further analysis. Docking poses and interaction diagrams were saved for visualization and interpretation.

3. RESULTS

3.1. In Silico ADMET Assessment of Theobromine

In silico ADMET analyses indicate that theobromine has promising pharmacokinetic and safety properties for drug development (Table 1). Physicochemical evaluations revealed a molecular weight of 180.06 g/mol, a TPSA value of 72.68 Å², and logP (–0.441) and logS (–2.277) values within optimal ranges for drug similarity. These data indicate that the compound has hydrophilic characteristics, good membrane permeability, and adequate water solubility. Furthermore, the absence of violations of Lipinski, Pfizer, and GSK guidelines, and a Golden Triangle score of 1.0, support theobromine's low toxicity risk and favorable pharmaceutical profile.

Absorption analyses suggest that while high intestinal permeability is predicted, cellular absorption may be limited due to low Caco-2 permeability. Low plasma protein binding (22.17%) and a high free fraction (73.66%) indicate that the compound may be present in a high active form in the circulation. Moderate blood-brain barrier penetration (0.52) suggests that systemic efficacy is possible but central nervous system effects may be limited.

Metabolism predictions indicated a high probability of being a substrate for CYP1A2 (1.000) and a moderate probability for CYP3A4 (0.792), indicating that theobromine may be primarily

metabolized via CYP1A2. The low risk of hERG blockade (0.056) provides an advantage in terms of cardiac toxicity.

Toxicity evaluations indicated a high risk of liver damage, genotoxicity, and neurotoxicity. However, Ames mutagenicity was reported as borderline/possible. These findings suggest that theobromine's safety profile needs to be improved through structural optimization or derivative development studies.

Overall, the in silico data indicate that theobromine meets appropriate drug-like criteria, offers pharmacokinetic advantages, and, combined with its ability to bind to caspases, represents a potentially developable natural core structure for anticancer research.

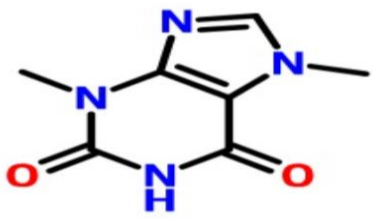
3.2. Molecular Docking Results for Theobromine

Molecular docking studies revealed that Theobromine interacts with both Caspase-3 and Caspase-7 with favorable binding affinities.

Theobromine – Caspase-3: Docking score: **-5.2** (C1). The compound exhibited stable interactions within the active site of Caspase-3. The 3D docking pose (Figure 2A) and the corresponding 2D interaction diagram (Figure 2B) illustrate hydrogen bonds and hydrophobic contacts with key residues, suggesting potential modulation of its enzymatic activity (Figure 2).

Theobromine – Caspase-7: Docking score: **-6.9** (C1). Theobromine showed even stronger binding to Caspase-7. The 3D binding mode (Figure 3A) and 2D interaction map (Figure 3B) confirm its placement in the active site and detail the molecular interactions, indicating a promising affinity for this apoptosis-related target (Figure 3).

Figures



.

Figure 1. Structure of Theobromine.

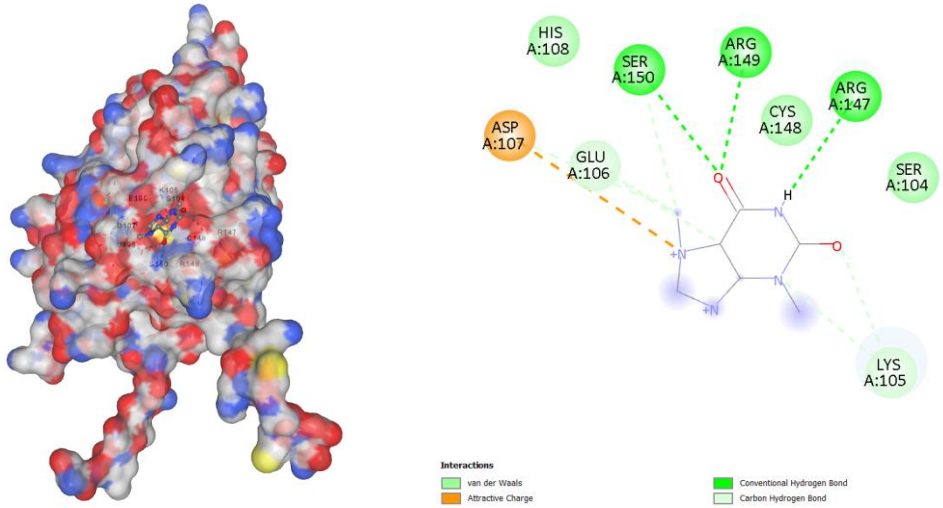


Figure 2. Molecular Docking Analysis of Theobromine with Caspase-3 (Score: -5.2). (A) 3D representation of Theobromine within the binding pocket of Caspase-3. (B) 2D ligand-protein interaction diagram highlighting specific interactions (e.g., hydrogen bonds, hydrophobic contacts).

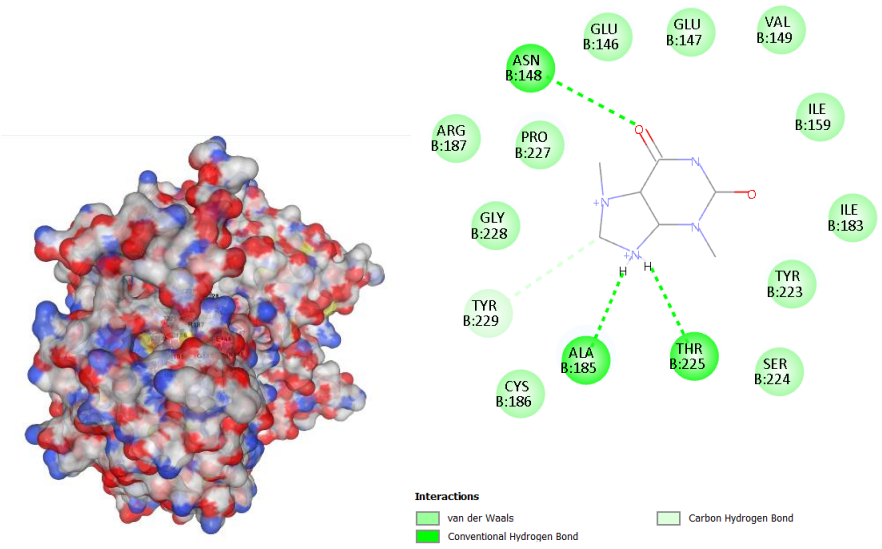


Figure 3. Molecular Docking Analysis of Theobromine with Caspase-7 (Score: -6.9). (A) 3D representation of Theobromine docked into the active site of Caspase-7. (B) 2D diagram detailing the interaction types and involved amino acid residues.

Table 1. ADMET properties and drug-likeness evaluation of Theobromine.

Category	Parameter	Value	Interpretation/Notes
Physicochemical	Molecular Weight (MW)	180.06 g/mol	Optimal range (100-600)
	TPSA	72.68	Good membrane permeability
	logP	-0.441	Hydrophilic
	logS	-2.277	Good aqueous solubility
Medicinal Chemistry	Lipinski Rule	0 violations	High drug-likeness
	Pfizer Rule	0 violations	Low toxicity risk profile
	GSK Rule	0 violations	Favorable ADMET profile
	Golden Triangle	1.0	Favorable profile
Absorption	HIA (Probability of Poor Abs.)	0.010	High intestinal absorption predicted
	Caco-2 Permeability	-4.542	Low permeability
Distribution	Plasma Protein Binding (PPB)	22.17%	Low binding, high free fraction
	Fraction Unbound (Fu)	73.66%	High availability in plasma
	BBB Penetration (Prob.)	0.52	Moderate/Indeterminate potential
Metabolism	CYP1A2 Substrate (Prob.)	1.000	High likelihood (Primary enzyme)
	CYP3A4 Substrate (Prob.)	0.792	High likelihood
Toxicity	hERG Blockers (Prob.)	0.056	Low risk of cardiac toxicity
	DILI (Liver Injury) (Prob.)	0.945	High risk predicted
	Genotoxicity (Prob.)	0.998	High risk predicted
	Neurotoxicity (Prob.)	0.922	High risk predicted
	Ames Mutagenicity (Prob.)	0.532	Borderline/Potential risk

REFERENCES

Asma, S. T., Acaroz, U., Imre, K., Morar, A., Shah, S. R. A., Hussain, S. Z., Arslan-Acaroz, D., Demirbas, H., Hajrulai-Musliu, Z., Istanbullugil, F. R., Soleimanzadeh, A., Morozov, D., Zhu, K., Herman, V., Ayad, A., Athanassiou, C., Ince, S. Natural Products/Bioactive Compounds as a Source of Anticancer Drugs, Cancers, 14(24), 6203. 2022 https://doi.org/10.3390/cancers14246203

Cadoná, F. C., Dantas, R. F., de Mello, G. H., & Silva-Jr, F. P. Natural products targeting into cancer hallmarks: An update on caffeine, theobromine, and (+)-catechin, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(26), 7222–7241, 2022 https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1913091

Cavalcante, G. C., Schaan, A. P., Cabral, G. F., Santana-da-Silva, M. N., Pinto, P., Vidal, A. F., & Ribeiro-dos-Santos, Â. A Cell's Fate: An Overview of the Molecular Biology and Genetics of Apoptosis. International Journal of Molecular Sciences, 20(17), 4133, 2019 https://doi.org/10.3390/ijms20174133

Dar, R. A., Shahnawaz, M., Ahanger, M. A., Majid, I. Exploring the Diverse Bioactive Compounds from Medicinal Plants: A Review. The Journal of Phytopharmacology, 12(3), 189–195, 2023 https://doi.org/10.31254/phyto.2023.12307

Dhani, S., Zhao, Y., & Zhivotovsky, B. A long way to go: caspase inhibitors in clinical use. Cell Death & Disease, *12*(10), 949, 2021 https://doi.org/10.1038/s41419-021-04240-3

Goya, L., Kongor, J. E., & de Pascual-Teresa, S. (2022). From Cocoa to Chocolate: Effect of Processing on Flavanols and Methylxanthines and Their Mechanisms of Action. International Journal of Molecular Sciences, *23*(22), 14365, 2022 https://doi.org/10.3390/ijms232214365

Mishra, A. P., Salehi, B., Sharifi-Rad, M., Pezzani, R., Kobarfard, F., Sharifi-Rad, J., Nigam, M. Programmed Cell Death, from a Cancer Perspective: An Overview. *Molecular* Diagnosis & Therapy, *22*(3), 281–295, 2018 https://doi.org/10.1007/s40291-018-0329-9

Mustafa, M., Ahmad, R., Tantry, I. Q., Ahmad, W., Siddiqui, S., Alam, M., Abbas, K., Moinuddin, Hassan, M. I., Habib, S., Islam, S. Apoptosis: A Comprehensive Overview of Signaling Pathways, Morphological Changes, and Physiological Significance and Therapeutic Implications. Cells, *13*(22), 1838, 2024 https://doi.org/10.3390/cells13221838

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

COMPARATIVE INVESTIGATION OF PHENOLIC COMPOUNDS, ANTIOXIDANT CAPACITY AND PROTEIN CONTENT OBTAINED FROM ETHANOL AND WATER EXTRACTIONS OF *VITEX AGNUS-CASTUS* L. SEEDS

Assist. Prof. Dr. Muammer TEPE
Manisa Celal Bayar University/Akhisar Vocational School
E-mail: muammer.tepe@cbu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-1071-0060
Assoc. Prof. Dr. Hafize DİLEK TEPE
Manisa Celal Bayar University/Akhisar Vocational School
E-mail: hafize.dilek@cbu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-6035-6901

Abstract

This study investigates the total phenolic content, individual phenolic composition, antioxidant capacity, and protein content of seed extracts from *Vitex agnus-castus* L. obtained using ethanol and water as extraction solvents. We used the Folin–Ciocalteu method to determine the total phenolic content (TPC) and LC-MS/MS to determine the individual phenolic elements. We utilised the Bradford method to figure out how much protein was in the sample and the ABTS, DPPH, and FRAP assays to figure out how much antioxidant activity it had. The quantities of phytochemicals and the ability to fight free radicals varied greatly depending on the solvent. These results show how important solvent polarity is to the bioactive profile of *V. agnus-castus*, which is useful information for its possible uses in nutraceuticals and pharmaceuticals.

1. Introduction

The medicinal plant, *Vitex agnus-castus* L., also known as "hayıt" or "chaste tree," is part of the Lamiaceae family (Figure 1). It has been used for hundreds of years to treat hormonal imbalances, irregular periods, inflammation, and bacterial infections since it has many phytochemicals. Flavonoids, phenolic acids, iridoid glycosides, and diterpenoids are just a few of the secondary metabolites that make the plant act as a medicine [1].



Figure 1. Fresh *Vitex agnus-castus* L



Figure 2. *Vitex agnus-castus* L seeds

Recent research highlights important plant chemicals, such as apigenin derivatives, casticin, vitexin, luteolin, and various hydroxybenzoic [2]. These compounds are acknowledged for their potent antioxidant, anti-inflammatory, and endocrine-modulating properties [3]. Additionally, the type of solvent used can significantly affect both the efficiency of bioactive metabolite extraction and the variety of metabolites that can be obtained.

In view of these considerations, the present work aims to comprehensively evaluate the total phenolic content, phenolic compound profile, antioxidant potential, and protein content of ethanol and water extracts from *V. agnus-castus* seeds (Figure 2). This analysis contains important information about the best ways to extract this medicinal plant and how it could be used in the food, pharmaceutical, and nutraceutical industries.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material and Extraction Procedure

Dried seeds of *Vitex agnus-castus* L. were purchased from a local herbal market in Manisa, Türkiye. A representative 2 g subsample was mixed with 40 mL of absolute ethanol (100%). Extraction was performed using an Ultra-Turrax homogeniser (IKA T25, Staufen, Germany) at 5000 × g for 3 minutes, followed by a 30-minute resting period at room temperature. The extracts were filtered through Whatman No. 1 filter paper and stored in amber bottles at +4°C until further analysis.

Aqueous extracts were prepared using the same method, substituting ethanol with distilled water. All extractions were conducted in duplicate.

2.2. Determination of Total Phenolic Content (TPC)

Total phenolic content was measured using the Folin–Ciocalteu method (Singleton et al., 1999). Gallic acid standards (0.1–0.5 mg/mL) were used to construct the calibration curve [5]. For each sample, 0.5 mL of extract was combined with 2.5 mL of Folin–Ciocalteu reagent and 7.5 mL of 20% sodium carbonate solution. The reaction mixture was incubated for 2 hours at room temperature in the dark. Absorbance was measured at 760 nm using a UV–Vis spectrophotometer. Results were expressed as mg GAE/g dry weight (DW).

2.3. LC–MS/MS Analysis of Phenolic Compounds

Phenolic composition was determined using LC–MS/MS, targeting 23 phenolic compounds, including hydroxybenzoic acids, hydroxycinnamic acids, flavonoid glycosides, aglycones, and lignans. Quantification was performed by external calibration using authentic standards. Results are expressed as mg/kg ± standard deviation (SD). All analyses were performed in duplicate.

2.4. Antioxidant Activity Assays

2.4.1. ABTS Radical Scavenging Activity

ABTS$^{\cdot+}$ radical cations were generated, diluted to 0.70 ± 0.02 absorbance at 734 nm, and reacted with extract samples for 6 minutes. Absorbance was measured at 734 nm. Results were expressed as µM Trolox equivalent per g dry weight (µM TE/g DW) [6].

2.4.2. DPPH Radical Scavenging Activity

DPPH radical solution (0.1 mM) was mixed with sample extracts and incubated for 30 minutes in the dark. Absorbance was measured at 517 nm. Results were expressed as µM TE/g DW [7].

2.4.3. Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

FRAP reagent was freshly prepared, and extracts (50 µL) were mixed with the reagent and read at 593 nm after 4 minutes of incubation at 37°C. Results were expressed as µM TE/g DW [8].

2.5. Determination of Total Protein Content

Protein content was quantified using the Bradford method (Bradford, 1976). Bovine serum albumin (BSA) solutions (0–1000 µg/mL) were used to generate the standard curve [9]. Samples (100 µL) were mixed with Bradford reagent and incubated for 10 minutes at room temperature. Absorbance was recorded at 595 nm, and results were expressed as µg protein per g dry weight (µg/g DW).

3. Results

3.1. Total Phenolic Content (TPC)

The TPC values were obtained from the Folin–Ciocalteu assay.This indicates that ethanol extracted a greater amount of phenol, likely due to its ability to solubilise flavonoids and midpolar phenolic acids.

Table 1. Total phenolic content of *Vitex agnus-castus*.

Extraction Solvent	TPC (mg GAE/g DW)	Method
Ethanol extract	0.44 ± 0.012	Folin–Ciocalteu assay
Water extract	0.28 ± 0.0075	Folin–Ciocalteu assay

3.2. Antioxidant Activity

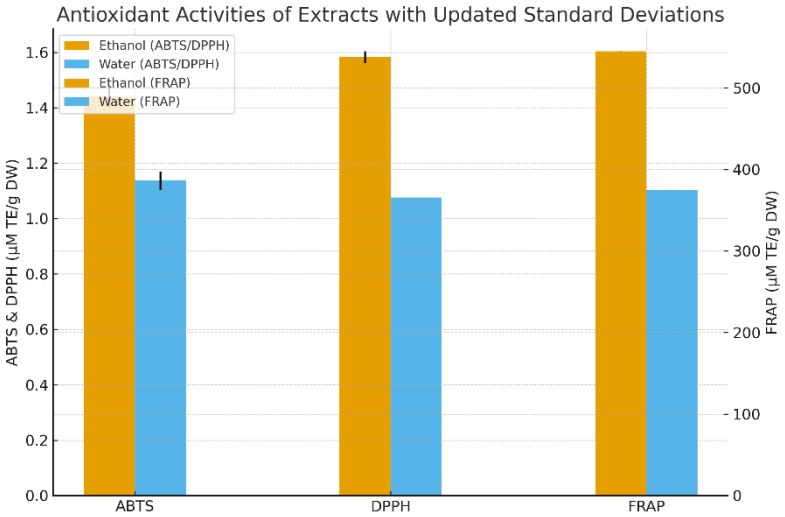


Figure 3. Antioxidant activity results of *Vitex agnus-castus.*

3.3. Total Protein Content

Table 2. Total protein content of *Vitex agnus-castus*

Parameter	Ethanol (mean ± SD)	Water (mean ± SD)
Protein (µg/g DW)	46.888 ± 6.536	57.482 ± 11.789

Water extracts showed slightly higher protein solubilisation, consistent with greater hydrophilicity of proteins.

3.4. Phenolic Compound Profile (LC–MS/MS)

A total of 23 phenolic compounds were identified and quantified in ethanol and water extracts of *Vitex agnus-castus* seeds. The results show clear solvent-dependent differences, with ethanol extracts rich in flavonoids and lignans, while water extracts contained substantially higher levels of several hydroxybenzoic and hydroxycinnamic acids.

Table 3. The levels of phenolic compounds found in the ethanol and water extracts of *Vitex agnus-castus.*

Compound	Ethanol Extract (mg/g ± SD)	Water Extract (mg/g ± SD)	Chemical Formula
3,4-Dihydroxyphenylacetic acid	0.118 ± 0.002	0.203 ± 0.032	C8H8O4
3-Hydroxybenzoic acid	506.836 ± 2.217	1004.927 ± 2.834	C7H6O3
3-Hydroxytyrosol	0.252 ± 0.038	0.000 ± 0.000	C8H10O3
4-Hydroxybenzoic acid	514.167 ± 0.606	1011.185 ± 0.325	C7H6O3
Apigenin-7-glucoside	5.516 ± 0.091	0.000 ± 0.000	C21H20O10
Apigenin	0.000 ± 0.000	0.557 ± 0.014	C15H10O5
Caffeic acid	20.798 ± 0.335	0.000 ± 0.000	C9H8O4
Chlorogenic acid	492.782 ± 0.160	18.291 ± 0.427	C16H18O9
Eriodictyol	9.856 ± 0.063	0.000 ± 0.000	C15H12O6
Ferulic acid	3.678 ± 0.180	0.524 ± 0.206	C10H10O4
Gallic acid	0.333 ± 0.058	0.000 ± 0.000	C7H6O5
Hesperidin	4.255 ± 0.082	0.000 ± 0.000	C28H34O15
Hyperoside	10.567 ± 0.108	0.000 ± 0.000	C21H20O12
Kaempferol	10.670 ± 0.660	12.947 ± 0.174	C15H10O6
Luteolin-7-glucoside	91.830 ± 0.434	1.747 ± 0.089	C21H20O11
Luteolin	9.590 ± 0.133	13.031 ± 0.168	C15H10O6
p-Coumaric acid	48.996 ± 0.768	118.741 ± 0.292	C9H8O3
Pinoresinol	16.366 ± 0.340	8.195 ± 0.995	C20H22O6
Protocatechuic acid	96.348 ± 0.346	338.535 ± 1.236	C7H6O4
Quercetin	6.180 ± 0.009	0.031 ± 0.003	C15H10O7
Syringic acid	2.667 ± 0.097	1.009 ± 0.037	C9H10O5
Taxifolin	106.578 ± 0.219	0.000 ± 0.000	C15H12O7
Vanillin	16.417 ± 0.179	17.132 ± 0.317	C8H8O3

4. Discussion

The results of this study reveal pronounced solvent-dependent differences in the phenolic composition and antioxidant activity of *Vitex agnus-castus* L. seed extracts.

4.1. Solvent-Dependent Antioxidant Activity

Ethanolic extracts displayed significantly higher antioxidant capacity in all assays (ABTS, DPPH, FRAP). This effect is consistent with ethanol's ability to solubilise mid-polarity flavonoids such as apigenin derivatives, hyperoside, hesperidin, and luteolin glycosides.

These findings agree with recent studies showing that ethanolic extracts of Lamiaceae species typically yield higher antioxidant values due to their rich flavonoid content (Kowalczyk et al., 2021; Al-Goufi et al., 2023).

In contrast, aqueous extracts exhibited moderate antioxidant activity, paralleling their lower flavonoid content and dominance of hydrophilic phenolic acids.

4.2. Phenolic Composition and Extraction Selectivity

LC-MS/MS analysis clearly demonstrated that solvent polarity strongly influenced phenolic extraction patterns:

Table 4. Solvent polarity effect of phenolic compounds

Ethanolic Extract (Flavonoid-Rich Compounds)	**Aqueous Extract (Phenolic Acid–Rich Compounds)**
Apigenin-7-glucoside	Chlorogenic acid

Ethanolic Extract (Flavonoid-Rich Compounds)	**Aqueous Extract (Phenolic Acid–Rich Compounds)**
Hyperoside	Protocatechuic acid
Hesperidin	p-Coumaric acid
Luteolin glycosides	3-Hydroxybenzoic acid
Pinoresinol	—
Taxifolin	—

These results match previously reported solvent-selective extraction patterns in polyphenol-rich plants [10, 11]. The notably high protocatechuic acid level in water extract suggests a high affinity for hydrophilic environments.

4.3. Protein Content Differences

Water extracts showed slightly higher protein solubility than ethanol extracts, reflecting protein hydrophilicity a trend also observed in other medicinal plant extractions [12].

5. Conclusion

This research offers a thorough comparison of ethanol and aqueous extracts of *Vitex agnus-castus* seeds. Ethanol is shown to be more efficacious in extracting flavonoids and augmenting antioxidant activity, whereas water extracts were focused on hydrophilic phenolic acids. These findings underscore the critical importance of solvent polarity in phytochemical extraction and endorse the prospective application of *V. agnus-castus* extracts in nutraceutical and medicinal formulations.

References

[1] Benelli, G., Pavela, R., Canale, A., Cianfaglione, K., & Ciaschetti, G. (2018). Biophysical and chemical characterization of Vitex agnus-castus L. and its potential applications. Industrial Crops and Products, 112, 138–145. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.037

[2] Sanchis, A., Martínez, L., Bagán, R., García-Ripoll, A., & González, N. (2021). Phytochemical composition of Vitex agnus-castus L. seeds: Comprehensive characterization of flavonoids and phenolic acids. Plants, 10(11), 2403. https://doi.org/10.3390/plants10112403

[3] 3 Díaz, A., Houghton, P., & Hoult, J. (2019). Biological activity of flavonoids from Vitex agnus-castus. Journal of Ethnopharmacology, 242, 112036. https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112036

[4] Al-Goufi, Z., Al-Rimawi, F., & Jaber, S. (2023). Influence of extraction solvents on polyphenolic recovery and antioxidant activity of medicinal plants. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 33, 100491. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2023.100491

[5] Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). *Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent*. Methods in Enzymology, 299, 152–178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

[6] Arnao MB, Cano A, Acosta M. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. Food Chemistry 2001;73:239–44. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00324-1.

[7] Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology 1995;28:25–30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5.

[8] Benzie IFF, Strain JJ. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. Analytical Biochemistry 1996;239:70–6. https://doi.org/10.1006/ABIO.1996.0292.

[9] Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. *Analytical Biochemistry, 72*(1–2), 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

[10] Katalinić, V., Možina, S. S., Skroza, D., Generalić, I., Abramovič, H., Miloš, M., & Ljubenkov, I. (2020). Polyphenolic profiling and antioxidant properties of selected medicinal plants. Food Chemistry, 335, 127658. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127658

[11] Mzid, M., Ben Khedir, S., Sghaier, M. B., Fredj, M. B., & Rebai, T. (2023). Effect of solvent polarity on extraction of plant phenolics and their antioxidant capacity. Journal of Food Measurement and Characterization, 17, 2021–2030. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01524-4

[12] Serrano, R., Martín-García, B., & López, M. (2021). Protein solubility patterns in medicinal plants: Extraction efficiency and biological relevance. Journal of Herbal Medicine, 28, 100432. https://doi.org/10.1016/j.hermed.2021.100432

THE EFFECTS OF DIFFERENT SOIL pH LEVELS ON THE HISTOLOGY OF *Eisenia fetida*

Irmak ZENGİN
Ege University
irmakzengin20@gmail.com - 0009-0006-4769-3942
Res. Asst. Muhterem Elif DEMİRAĞ
Ege University
muhterem.elif.demirag@ege.edu.tr - 0009-0007-6343-1309
Res. Asst. Dr. Melodi YENMİŞ
Ege University
melodi.yenmis@ege.edu.tr - 0000-0003-2627-6008
Assoc. Prof. Dr. Esra AKAT ÇÖMDEN
Ege University
esra.akat@ege.edu.tr - 0000-0001-7080-3106

ABSTRACT

Earthworms are considered key biological indicator organisms for the soil ecosystem due to their critical role in soil fertility. They create channels in the soil with their movements, allowing the soil to aerate and contributing significantly to general soil health. They also serve as a food source for many organisms and contribute to the formation of natural fertilizer by accelerating the decomposition of organic matter. This process supports root development in plants and helps maintain the pH balance of the soil. However, increased use of pesticides or chemicals in agricultural areas and changes in soil pH due to climate change have a negative impact on earthworms. In this study, the effects of soil pH changes on *Eisenia fetida* were investigated. In the experimental design, four different pH groups (4, 5, 7, 8) were created in addition to the control group (pH 6.8). Samples from all groups were collected on days 7, 14, and 21, followed by histological analysis. The results revealed histopathological changes in the body wall of earthworms exposed to different pH levels. The most pronounced degeneration occurred in earthworms exposed to the most highly acidic soil. The results of this study provide information from the histopathological perspective of earthworms and thus support the development of strategies to improve soil fertility and ecosystem functionality.

Key Words: Earthworm, *Eisenia fetida*, histopathology, soil pH, acidity

Acknowledgement: This study was financially supported by TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey, Project number: 2209-A, 1919B012319278)

BİYODİZEL ATIKSUYUNDAN $O_3/H_2O_2/UV$ PROSESİ İLE KOİ, TOK VE MEOH GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Arş.Gör. Dr. Meryem AKSU
Sakarya Üniversitesi
meryemm@sakarya.edu.tr - 0000-0003-0678-7150

Doç.Dr. Nazire Pınar TANATTI
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
ptanatti@subu.edu.tr - 0000-0002-2904-7334

ÖZET

Fosil yakıtlara sürdürülebilir bir seçenek olarak biyodizel çevre dostu bir yakıt alternatifi olmasına ağmen, üretiminde yüksek kirlilik yüküne sahip atıksuların oluşmasına neden olmaktadır. Literatürde, biyodizel üretiminden kaynaklanan atıksuların karakteristiği; yüksek organik madde (KOİ > 20.000 mg/L), yağ ve gres, metanol, sabunlaşmamış yağ asitleri, gliserol ve kataliz kalıntıları (özellikle NaOH veya KOH) içeriğiyle tanımlanmaktadır. Bu atıksular genellikle yüksek pH (9–12) ve yüksek iletkenlik göstermekte olup bu nedenle doğrudan deşarj edilememektedir.

Bu çalışma da biyodizel atıksuyunun ön artımında eletrokoagülasyon prosesi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel atıksuyununun ileri arıtım proseslerinden olan $O_3/H_2O_2/UV$ prosesi ile arıtımı amaçlanmıştır. Elektrokoagülasyon prosesinden sonra atıksuyun başlangıç KOİ, TOK ve MeOH değeri sırasıyla 19700 mg/L, 5620 mg/L ve 6902 mg/L'dir. Elektrokoagülasyonlu biyodizel atıksunun $O_3/H_2O_2/UV$ yönteminde 36 Watt ışık şiddetinde pH, ozon (O_3) dozu, H_2O_2 dozu ve reaksiyon süresi çalışması yapılmıştır. Optimum koşullar araştırılırken pH 2 ile 13, 0,5 ile 6 g/L ozon dozları, 1 ile 50 g/L H_2O_2 dozları ve ayrıca reaksiyon süresi 0,5 ile 5 saat arasında incelemiştir. Arıtma prosesinde optimum değerler olarak pH 13, 6 g/L O_3 dozu, 20 g/L H_2O_2 dozu ve 5 saat reaksiyon süresi belirlenmiştir. En yüksek KOİ, TOK ve MeOH giderimi bu optimum koşullarda elde edilmiş olup sırayla %80,%89 ve %95 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler : Biyodizel atıksuyu, $O_3/H_2O_2/UV$ prosesi, KOİ, TOK, MeOH

INVESTIGATION OF COD, TOC, AND MEOH REMOVAL FROM BIODIESEL WASTEWATER USING THE O_3/H_2O_2/UV PROCESS

PhD. Meryem AKSU
Sakarya University
meryemm@sakarya.edu.tr - 0000-0003-0678-7150

Doç.Dr. Nazire Pınar TANATTI
Sakarya Applied Scieces University
ptanatti@subu.edu.tr - 0000-0002-2904-7334

ABSTRACT

Although biodiesel is an environmentally friendly alternative fuel and a sustainable option to fossil fuels, its production generates wastewater with a high pollution load. According to the literature, wastewater originating from biodiesel production is characterized by a high concentration of organic matter (COD > 20,000 mg/L), oils and grease, methanol, unsaponified fatty acids, glycerol, and catalyst residues (mainly NaOH or KOH). These wastewaters generally exhibit high pH values (9–12) and high conductivity, making them unsuitable for direct discharge.

In this study, an electrocoagulation process was applied as a pretreatment for biodiesel wastewater. The advanced oxidation process O_3/H_2O_2/UV was subsequently employed for the further treatment of the electrocoagulated effluent. After electrocoagulation, the initial COD, TOC, and MeOH concentrations of the wastewater were 19,700 mg/L, 5,620 mg/L, and 6,902 mg/L, respectively. In the O_3/H_2O_2/UV process, the effects of pH, ozone dose (O_3), hydrogen peroxide dose (H_2O_2), and reaction time were investigated at a light intensity of 36 W. During optimization, pH values between 2 and 13, ozone doses between 0.5 and 6 g/L, H_2O_2 doses between 1 and 50 g/L, and reaction times between 0.5 and 5 hours were studied. The optimum operating conditions were determined as pH 13, O_3 dose of 6 g/L, H_2O_2 dose of 20 g/L, and reaction time of 5 hours. Under these conditions, the highest removal efficiencies were achieved as 80% for COD, 89% for TOC, and 95% for MeOH.

Keywords: Biodiesel wastewater, O_3/H_2O_2/UV process, COD, TOC, MeOH

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

ADVANCED OXIDATION PROCESSES IN THE TREATMENT OF PHARMACEUTICAL MANUFACTURING INDUSTRY WASTEWATER

Zehra ÖZTÜRK
Yildiz Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Türkiye
zehraozturk2@std.yildiz.edu.tr - 0009-0001-3027-3339
Emine CAN GÜVEN
Yildiz Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Türkiye
ecguven@yildiz.edu.tr - 0000-0002-3540-3235

ABSTRACT

Wastewater from the pharmaceutical manufacturing industry is one of the most challenging effluents, characterized by high content of resistant organic matter, low biodegradability, and toxicity caused by active pharmaceutical ingredients. The high organic content, variable characterization, and presence of recalcitrant pollutants make the management and treatment of these wastewaters a critical problem. Conventional treatment methods are generally insufficient in removing these resistant compounds. Wastewater discharged without sufficient treatment leads to the disruption of the ecosystem due to pollutants released into the receiving environment. Therefore, the implementation of advanced treatment applications as alternatives to conventional methods is required for the treatment of pharmaceutical manufacturing industry wastewater. Advanced Oxidation Processes (AOPs) stand out as an efficient and feasible approach for the treatment of these wastewaters. In this study, the effectiveness of AOPs in the treatment of pharmaceutical manufacturing industry wastewater was examined through a literature review. According to the literature, Fenton, photocatalysis, ozonation, and hybrid processes are among the most preferred methods. The results also indicate that single processes may not offer a complete solution in terms of economic and technical feasibility. Furthermore, hybrid configurations, where AOPs are used as pre-treatment or post-treatment, are stated to be a sustainable approach at the industrial scale. Consequently, it is emphasized that integrated treatment systems aiming for the recovery of water and valuable chemicals, in line with circular economy and zero liquid discharge strategies, are recommended topics for future research.

Keywords: Advanced Oxidation Processes, Hybrid Treatment Systems, Fenton, Pharmaceutical Wastewater, Photocatalysis

1. INTRODUCTION

The pharmaceutical industry plays a crucial role in modern medicine. However, it is one of the most environmentally polluting sectors due to the solvents, catalysts, reactants, and by-products generated during production processes (Gadipelly et al., 2014; Pal, 2018). The global increase in drug consumption and the variation of production technologies make the wastewater characterization very complex and challenging (Vijaya Kumar, 2024). This industry produces a wide variety of active pharmaceutical ingredients (APIs), including antibiotics, antineoplastics, hormones, and analgesics (Deegan et al., 2011). It also manufactures a wide variety of products that require large volumes of chemical inputs (Sörensen et al., 2015). This production creates wastewater with complex chemical structures, high organic content, and toxicity (Deegan et al., 2011). The wastewater from these processes contains mixtures of pharmaceuticals, hormones, and various micropollutants in trace amounts, and the volume and characteristics of wastewater can vary by sector and location (Gadipelly et al., 2014; Srikanth Vuppala et al., 2012). These wastewater streams, which have a high pollution load in terms of organic matter, nutrients, and toxic substances, have technical challenges for treatment due to strict legal regulations (Deegan et al., 2011; Imran, 2005). This situation necessitates the revision of traditional treatment methods for this type of wastewater.

Many conventional treatment methods are ineffective, especially in removing recalcitrant materials and micropollutants that are ecotoxic even at low concentrations. It has been reported in the literature that pharmaceuticals often remain unchanged in biological treatment plants or are transferred to the ecosystem by adsorbing onto sludge (Shi et al., 2017). Deegan et al. (2011) found that significant amounts of APIs are still present in discharges from traditional treatment plants, which could lead to irreversible damage, such as antibiotic resistance in the aquatic ecosystem. Imran (2005) reported that the wastewater parameters (chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, and total suspended solids) from a pharmaceutical industry in Pakistan exceeded the National Environmental Quality Standards and that discharging this wastewater without treatment poses a serious environmental risk.

In this context, Advanced Oxidation Processes (AOPs) stand out for their ability to break down pollutants or turn them into biodegradable forms using strong oxidants like hydroxyl and sulfate radicals. This study aims to evaluate the different AOP technologies used in the treatment of pharmaceutical wastewaters, hybrid applications, and sustainability strategies based on current literature.

2. PHARMACEUTICAL WASTEWATER CHARACTERIZATION

In pharmaceutical production, a steady and high-quality water supply is crucial for various processes, including manufacturing and cooling (Gadipelly et al., 2014). However, production involving chemical and biological materials generates complex waste streams (Pal, 2018). Wastewaters, particularly from synthesis and formulation, can vary greatly in characteristics and pollution levels due to the diversity of production activities (Gadipelly et al., 2014). Most production processes use batch operations instead of continuous flow, resulting in large differences in wastewater quantity and composition, which complicates the design of treatment plants (Gadipelly et al., 2014; Sörensen et al., 2015).

For efficient treatment, it is important to characterize and separate different wastewater streams at the source. Srikanth Vuppala et al. (2012) suggested separating wastewaters into two main streams as high total dissolved solids (HTDS) and low total dissolved solids (LTDS) in a study conducted at a drug production facility. The HTDS stream, which comes from process reactors and contains high inorganic salts and dissolved organic matter, generally cannot undergo biological treatment and is typically handled with multiple effect evaporators (Srikanth Vuppala et al., 2012). In contrast, the LTDS stream, which includes washing waters and domestic wastewaters, can be sent to biological treatment systems as it has a lower pollution load (Srikanth Vuppala et al., 2012).

The complexity of the wastewater matrix is not limited to salinity. It contains APIs along with organic solvents like methanol and acetone, surfactants for emulsification, and refractory organic compounds (Gadipelly et al., 2014). The mixture of these components creates a highly variable and challenging wastewater profile with high chemical oxygen demand values ranging from 4410 mg/L to 40000 mg/L (Shi et al., 2017).

Anaerobic technologies are often chosen for industrial wastewater treatment due to their energy recovery potential. However, Shi et al. (2017) noted that these technologies have significant limitations, specifically for pharmaceutical wastewaters. Antibiotic residues and high sulfate levels in the wastewater have a direct inhibitory effect on methanogenic bacteria, which are an important part of the anaerobic systems (Shi et al., 2017). This inhibition reduces the biogas production efficiency of the system, leads to volatile fatty acid accumulation, disrupting reactor pH, and ultimately causes system failure. Therefore, an effective pre-treatment stage is necessary to reduce toxicity and degrade antibiotic molecules to ensure the sustainability of biological treatment units (Date & Jaspal, 2023; Shi et al., 2017).

3. PHARMACEUTICAL WASTEWATER TREATMENT

The pharmaceutical industry has a challenging and variable wastewater profile due to the complexity of production processes and the variety of raw materials used. These wastewaters contain APIs such as antibiotics, analgesics, hormones, and cytotoxic drugs, in addition to high levels of organic matter, suspended solids, high salinity, and solvents (Gadipelly et al., 2014; Pal, 2018). Conventional wastewater treatment plants are typically designed for large volumes of more uniform waste, making them generally inadequate for removing refractory and toxic pollutants from the pharmaceutical industry wastewater (Deegan et al., 2011). Therefore, various alternative methods based on biological, physical, and chemical principles have been developed to treat pharmaceutical wastewaters before they are discharged into the receiving environment. However, each method has its own limitations in terms of application scale, cost, energy efficiency, and success in removing pollutants.

3.1. Biological Treatment

Biological processes are traditionally the most commonly used methods in the treatment of wastewaters. These processes can be categorized as aerobic and anaerobic systems. Aerobic methods, such as activated sludge systems, are widely used for their ease of operation and effectiveness in removing organic matter (Deegan et al., 2011). However, antibiotics and solvents present in pharmaceutical wastewaters can have an inhibitory effect on the microbial

communities that form the activated sludge (Shi et al., 2017). Furthermore, many pharmaceutical compounds resist degradation under aerobic conditions and can leave the treatment plant either intact or only partially metabolized (Deegan et al., 2011). This poses serious environmental risks, such as the spread of antibiotic resistance in aquatic ecosystems (Shi et al., 2017).

For pharmaceutical industry wastewaters with high organic pollution levels, anaerobic treatment technologies offer a strong alternative to aerobic systems because they require less energy and produce biogas (Shi et al., 2017). Anaerobic systems also produce less waste sludge and can tolerate high organic loadings (Shi et al., 2017). However, the slow growth rates of anaerobic bacteria and their sensitivity to toxic components such as sulfates, heavy metals, and high salinity create challenges for system stability. Membrane bioreactors (MBR) were developed to increase biological treatment performance by combining biological degradation with membrane filtration, offering high-quality effluent and efficient removal of suspended solids. However, membrane fouling and high energy costs limit their widespread use (Gadipelly et al., 2014; Pal, 2018).

3.2. Physicochemical Treatment Methods

Physicochemical methods are employed when biological treatment is insufficient due to toxicity or non-biodegradable pollutants. These processes generally focus on phase transfer or physical separation, aiming to remove suspended solids, colloids, and resistant organic compounds.

3.2.1. Coagulation and Flocculation

This method is generally used as a pre-treatment step to remove suspended solids and colloidal particles before biological treatment. However, it is not very effective in removing APIs, and the formation of large amounts of hazardous chemical sludge that requires disposal is the major limitation of this method (Guo et al., 2017; Pal, 2018).

3.2.2. Adsorption

Adsorption, especially with activated carbon, is very effective as a final step in the treatment of pharmaceutical wastewaters. Different types of adsorbents are used in the treatment of pharmaceutical wastewaters (Date & Jaspal, 2023). However, the fundamental mechanism of adsorption is not to degrade the pollutant but to transfer it from the liquid phase to the solid phase. This creates a secondary pollution issue because the saturated adsorbent requires further handling or regeneration (Date & Jaspal, 2023; Mansouri et al., 2021). Despite this limitation, using adsorption as a final polishing step improves the removal efficiency, highlighting its role in hybrid systems (Patel et al., 2020).

3.2.3. Membrane Processes

Membrane filtration technologies, especially reverse osmosis and nanofiltration, are considered suitable for water recovery in the pharmaceutical industry (Gadipelly et al., 2014). Advanced treatment technologies, such as ceramic membranes, have become necessary in countries like China to meet strict discharge standards (Guo et al., 2017). However, energy costs arising from membrane fouling and high-pressure needs are significant limitations. Furthermore, membranes

do not eliminate pollutants, and they collect them in a highly dense waste stream called concentrate. The management of this concentrated waste presents a major environmental problem that needs to be solved (Gadipelly et al., 2014; Pal, 2018).

3.2.4. Evaporation

Countries with intensive pharmaceutical production, such as India and China, utilize multiple effect evaporators to align with zero liquid discharge (ZLD) goals (Srikanth Vuppala et al., 2012). Srikanth Vuppala et al. (2012) reported that wastewaters with high total dissolved solids content are subjected to evaporation before biological treatment. While evaporation effectively separates water from pollutants, it consumes a high amount of energy, and disposing of the remaining salt and organic solid waste is costly (Srikanth Vuppala et al., 2012).

4. ADVANCED OXIDATION PROCESSES IN PHARMACEUTICAL WASTEWATER TREATMENT

AOPs stand out for their ability to remove toxic and persistent organic pollutants resistant to conventional physicochemical and biological treatments (Ameta & Ameta, 2018; Pandis et al., 2022). The fundamental mechanism of these processes relies on the production of highly reactive species such as sulfate and hydroxyl radicals, which can mineralize pollutants into carbon dioxide and water (Ameta & Ameta, 2018; Vijaya Kumar, 2024).

When applications in the literature are examined, it is seen that methods such as the Fenton process, photocatalysis, and ozonation become increasingly popular. Ma et al. (2024) reported that the classic Fenton process showed superior performance in organic matter removal (71.9% total organic carbon, 66.9% chemical oxygen demand, 34.1% NH_3-N) compared to persulfate systems on real pharmaceutical wastewaters. It has been emphasized that AOPs, especially Fenton and photo-Fenton processes, effectively transform non-biodegradable pharmaceuticals into biodegradable forms, making them important as pre-treatment (Mansouri et al., 2021). Furthermore, while photocatalytic methods and TiO_2 usage are common, researchers have started using nanotechnology to enhance efficiency (Mansouri et al., 2021). Additionally, process intensification approaches like microwave energy and ultrasonic cavitation further accelerate radical production kinetics beyond conventional methods (Ameta & Ameta, 2018; Pandis et al., 2022).

4.1. Hybrid Processes and Industrial Applications

The complex structure of the pharmaceutical wastewater matrix limits the economic and technical efficiency of single treatment technologies; therefore, hybrid approaches are evaluated as an alternative in the literature. It was reported that integrated systems can achieve a removal efficiency of 92.7% by using ozonation to degrade intermediates that are then removed by activated carbon adsorption (Patel et al., 2020). Bio-electro-Fenton systems have also emerged as cost-effective alternatives, combining in-situ H_2O_2 production with biological degradation (Date & Jaspal, 2023).

Lab-scale successes in these methods are also promising for industrial applications. UV-oxidation systems implemented in major pharmaceutical facilities like BASF (Germany) and GSK (Singapore) were reviewed by Sörensen et al. (2015). In these facilities, streams containing EDTA that inhibit biological treatment or high concentrations of antibiotics (e.g.,

amoxicillin) undergo pre-treatment with AOPs at the source. This approach stabilizes biological systems and optimizes disposal costs (Sörensen et al., 2015). In terms of regional strategies, it is emphasized that direct discharge of pharmaceutical wastewaters is prohibited in China, making AOPs an efficient pre-treatment step or a final polishing method after biological treatment (Guo et al., 2017).

4.2. Future Perspective

Future developments for AOPs emphasize treatment efficiency, sustainability, and green chemistry principles. It was stated that ferrate technology performs oxidation and coagulation simultaneously without forming toxic by-products, providing a more eco-friendly alternative (Sharma et al., 2016). However, caution is needed regarding AOP applications, especially in the presence of nitrogenous compounds, due to the risk of forming nitro-organic by-products that are more toxic than the original compounds; therefore, process optimization should not be focused only on pollutant removal (Pandis et al., 2022).

Today, modern wastewater management aims not only to meet discharge standards but also to contribute to a circular economy. Strategies emphasizing ZLD, integrating technologies like membrane distillation and MBR with AOPs to recover water and valuable chemicals, are anticipated to be the primary focus in the future of the sector (Pal, 2018; Vijaya Kumar, 2024).

5. CONCLUSION

Wastewaters from the pharmaceutical industry constitute one of the most challenging areas in water pollution control due to their complex structure, high organic load, and recalcitrant ingredients. The literature review conducted in this study shows that conventional biological treatment methods remain insufficient due to toxicity, while physicochemical methods only delay the problem by transferring phases instead of destroying pollutants. In this context, AOPs, capable of mineralizing pollutants through strong oxidants, stand out as an effective treatment strategy. Results indicate that the most commonly used AOPs include Fenton, ozonation, and photocatalysis; however, the single use of these methods is not always feasible due to high operating costs and technical limitations. Instead, hybrid configurations integrating AOPs as a pre-treatment for toxicity removal or as a polishing step afterwards offer a sustainable economic and environmental approach. Industrial-scale applications show that these integrated systems meet discharge standards and reduce waste disposal costs. From a future perspective, pharmaceutical wastewater management needs to be considered around circular economy principles. In the optimization of treatment processes, factors such as energy efficiency, preventing toxic by-products, and recovering catalysts must be considered alongside pollutant removal efficiency. The ultimate aim should be the transition to ZLD systems that incorporate AOPs with membrane technologies to recover water and valuable chemicals. This change is crucial for staying ahead of environmental compliance as pressures on water resources increase.

6. REFERENCES

Ameta SC, Ameta R (2018) Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment, Emerging Green Chemical Technology. Edited by: Suresh C. Ameta and Rakshit Ameta Academic Press, pp 1–414.

Date M, Jaspal D (2023) Pharmaceutical Wastewater Remediation: A Review of Treatment Techniques. Industrial & Engineering Chemistry Research, 62:20492–20505.

Deegan AM, Shaik B, Nolan K, Urell K, Oelgemöller M, Tobin J, Morrissey A (2011) Treatment options for wastewater effluents from pharmaceutical companies. International Journal of Environmental Science & Technology, 8(3):649–666.

Gadipelly C, Pérez-González A, Yadav GD, Ortiz I, Ibáñez R, Rathod VK, Marathe K V. (2014) Pharmaceutical industry wastewater: Review of the technologies for water treatment and reuse. Industrial & Engineering Chemistry Research, 53(29):11571–11592.

Guo Y, Qi PS, Liu YZ (2017) A Review on Advanced Treatment of Pharmaceutical Wastewater. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 63, No. 1, p. 012025. IOP Publishing.

Imran H (2005) Wastewater Monitoring of Pharmaceutical Industry: Treatment and Reuse Options. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry, 4(4):994-1004.

Ma Y, Ma Y, Wan J, Wang Y, Ye G, Zhang Z, Lin Y (2024) Comparative study of Fe^{2+}/H_2O_2 and Fe^{2+}/persulfate systems on the pre-treatment process of real pharmaceutical wastewater. Water Science and Technology, 89(3):811–822.

Mansouri F, Chouchene K, Roche N, Ksibi M (2021) Removal of pharmaceuticals from water by adsorption and advanced oxidation processes: State of the art and trends. Applied Sciences, 11(14):6659.

Pal P (2018) Treatment and Disposal of Pharmaceutical Wastewater: Toward the Sustainable Strategy. Separation and Purification Reviews, 47(3):179–198.

Pandis PK, Kalogirou C, Kanellou E, Vaitsis C, Savvidou MG, Sourkouni G, Zorpas AA, Argirusis C (2022) Key Points of Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater, Organic Pollutants and Pharmaceutical Waste Treatment: A Mini Review. ChemEngineering, 6(1):8.

Patel S, Mondal S, Majumder SK, Das P, Ghosh P (2020) Treatment of a pharmaceutical industrial effluent by a hybrid process of advanced oxidation and adsorption. ACS Omega, 5(50):32305–32317.

Sharma VK, Chen L, Zboril R (2016) Review on High Valent FeVI (Ferrate): A Sustainable Green Oxidant in Organic Chemistry and Transformation of Pharmaceuticals. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 4(1):18–34.

Shi X, Leong KY, Ng HY (2017) Anaerobic treatment of pharmaceutical wastewater: A critical review. Bioresource Technology, 245:1238–1244.

Sörensen M, Zegenhagen F, Weckenmann J (2015) State of the Art Wastewater Treatment in Pharmaceutical and Chemical Industry by Advanced Oxidation. Pharm. Ind, 77(4):594-607.

Srikanth Vuppala N V, Suneetha C, Saritha V (2012) Study on treatment process of effluent in Bulk drug industry. International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences, 3(3):1095-1102.

Vijaya Kumar M (2024) Advanced Oxidation Processes: An Effective Solution for Treating Emerging Pollutants from Pharmaceutical Industries. In: E3S Web of Conferences. Vol. 596, p. 01035, EDP Sciences.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ANTIOXIDANT CAPACITIES OF COMMERCIALLY AVAILABLE FIG SEED OILS

Pharm. Nursema MENEKŞE
University of Health Sciences
nnursema.menekse@gmail.com - 0009-0000-7609-8778

Assoc. Prof. Dr. DUYGU TAŞKIN
University of Health Sciences, Hamidiye Faculty of Pharmacy
duygu.taskin@sbu.edu.tr - 0000-0002-5279-0900

Abstract

Recently, fig seed oil has gained significant attention as a potential source of natural antioxidants; however, commercial products can vary greatly in terms of quality and composition. This study aims to compare the antioxidant capacities of four different commercially available fig seed oils that are commonly used by the public. The DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) methods were utilized to evaluate the antioxidant activities of the oil samples. The results revealed significant variations among the products: out of the four commercial products, Brand G exhibited the highest antioxidant activity in both assays (DPPH IC_{50}: 7.16±0.91 mg/mL, ABTS IC_{50}: 5.90±0.25 mg/mL). In contrast, it was determined that the product belonging to Brand T did not exhibit any effect in either antioxidant assay. These findings highlight a significant variability in the antioxidant potential among commercially available fig seed oils, emphasizing the importance of brand selection and the need for greater standardization in the market.

Keywords: Fig seed oil, antioxidant activity, DPPH, ABTS.

1. INTRODUCTION

Fig (*Ficus carica* L.) belongs to the Moraceae family and comprises approximately 800 species. It has been cultivated in temperate climates for health and nutritional purposes for many years (1). In traditional medicine systems, it is known that the fig plant is utilized in the treatment of various conditions, such as cardiovascular, hypertensive, ulcerative, infectious, and cancerous diseases (2). The fig plant is used in fresh, dried, and various other forms; its latex is utilized as an expectorant, diuretic, and anthelmintic, as well as for improving anemia, while its leaves are used for their antidiabetic and antifungal properties (3). Recently, interest in the use of plant-derived oils has increased due to their antioxidant effects. It has been observed that fig seed oil, obtained from the seeds of the plant, contains high amounts of components such as sterols, gamma-tocopherol, total phenolics, flavonoids, and linolenic and linoleic acids (4). Owing to this rich composition, the fig, which is used for various medicinal purposes, possesses biological effects such as antimicrobial, anti-inflammatory, anticarcinogenic, and antioxidant properties (3).

Free radicals are high-energy atoms or molecules that carry at least one unpaired electron in their outermost orbital. Due to the presence of these unpaired electrons, they possess the characteristic of reacting easily with other substances. They lack a stable structure (5). Free radicals, known as reactive oxygen species (ROS), are continuously produced within the body during the energy production cycle. It is known that at low concentrations, free radicals are effective in processes such as protection against infections through phagocytosis and the production of adenosine triphosphate (ATP). Under normal conditions, free radicals and antioxidants exist in a state of equilibrium within the living organism. However, an increase in free radicals can lead to the development of many diseases, such as cardiovascular diseases, respiratory and excretory disorders, gastrointestinal diseases, cancer, and diabetes (6). It is known that plant-derived antioxidants reduce the damage caused by free radicals through their scavenging properties (7).

The aim of this study is to compare the antioxidant capacities of oil samples obtained from four different brands marketed as "Fig Seed Oil." Through this approach, the variations exhibited by commercial products in terms of quality and composition were investigated.

2. MATERIALS AND METHODS

Commercially available fixed oil forms of *F. carica* were utilized in this study. Fig seed oils belonging to four different brands (P, T, G, and B) were obtained from the market. The antioxidant activities of these four commercial products were measured using two different methods: the free radical scavenging capacity of the samples was determined using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) free radical scavenging assay. The ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) method was employed to determine the ABTS•+ cationic radical scavenging capacity of the samples. The standards used in the experiments were as follows: ascorbic acid was employed as the reference for both DPPH and ABTS assays. All analyses were performed in quintuplicate (five replicates), and the results are presented as the mean ± standard deviation.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The free radical scavenging activities of 'Fig Seed Oil' preparations from four commercial brands (P, T, G, and B) obtained from the market were determined using the DPPH method. In the experiment, antioxidant activities were evaluated by comparing them in terms of mg ascorbic acid equivalents. Ascorbic acid, which has well-known antioxidant properties, was used as a reference in the determination of DPPH radical scavenging activity. The antioxidant activity of ascorbic acid was determined using the DPPH method to obtain a regression equation. Based on this equation, the ascorbic acid equivalents of the studied products were calculated. At the end of the study, the DPPH radical scavenging activity determination for the extract obtained from Oil G (7.16±0.91 mg/mL) was found to be higher than the results obtained from the other "Fig Seed Oil" products purchased from the market. The extract obtained from Brand T oil, however, did not exhibit any antioxidant effect in the DPPH radical scavenging assay.

In the ABTS assay, the results obtained using oil samples from different brands were interpreted by comparing them with the IC_{50} value of ascorbic acid, which served as the reference substance. A calibration curve was generated by applying the ABTS assay to ascorbic acid. As a result of the study, it was concluded that the oil sample belonging to Brand G exhibited the highest antioxidant activity (5.90±0.25 mg/mL). When examining the antioxidant activities of the oil samples other than Brand G, the results were observed to follow the order of B, P, and T, respectively.

The antioxidant assays results were given in Table 1.

Table 1*. Antioxidant assay results of commercial products and ascorbic acid

Commercial product	DPPH (IC_{50}: mg/mL)	ABTS (IC_{50}: mg/mL)
P	25.63±5.41	10.06±0.99
G	7.16±0.91	5.90±0.25
B	61.27±6.55	9.04±0.67
T	-	-
Ascorbic acid	0.0050±0.0001	0.0044±0.0050

*Values are expressed as mean ± SD (n = 5).
–" indicates that IC_{50} could not be calculated due to lack of antioxidant activity.

4. CONCLUSIONS

It is known that pathological conditions occur when the balance between oxygen radicals and antioxidants in our body is altered. According to various studies, it has been observed that certain phenolic antioxidants prevent cell deaths caused by oxidative stress (8). According to a study, the DPPH, ABTS, and FRAP methods were utilized to examine the antioxidant activity in fixed oils. It was determined that the compounds exhibiting high antioxidant activity are phenolics, tocopherols, and sterols (9). Studies have established that fig seed oil demonstrates potent antioxidant properties against free radicals (10).

In this study, a comparison of fig seed oil samples (P, T, G, and B) obtained from the market was conducted in terms of their antioxidant activity using antioxidant capacity determination methods. Among the antioxidant activity determination methods, the DPPH radical scavenging method and the ABTS radical cation scavenging assay were utilized.

As a result of the DPPH assay, the antioxidant capacity of Oil G was calculated as 7.16±0.91 mg/mL, while the ranking of the antioxidant activities of the oil samples from other brands was observed to be P > B > T (Oil P: 25.63±5.41 mg/mL, Oil B: 61.27±6.55 mg/mL). It was observed that the Oil T sample exhibited no antioxidant activity.

As a result of the ABTS assay, the antioxidant capacity of Oil G was calculated to be 5.90±0.25 mg/mL. The ranking of the antioxidant activities of the other oil samples followed the order of B > P > T (Oil B: 9.04±0.67 mg/mL, Oil P: 10.06±0.99 mg/mL). It was observed that Oil T also exhibited no antioxidant effect in the ABTS assay.

In summary, in the experiments conducted with DPPH and ABTS radicals using ascorbic acid as a reference, it was observed that the antioxidant activity of Brand G was higher than that of the other oil samples. However, ascorbic acid, known for its high antioxidant properties, was found to exhibit a stronger antioxidant effect than all the tested oils. No antioxidant effect was observed for the fig seed oil belonging to Brand T.

The results obtained in this study emphasize that there is a significant variability in the antioxidant potential among commercially available fig seed oils, highlighting the importance of brand selection and the need for further standardization in the market.

.

REFERENCES

1. Burgaz, O., Yıldırım, İ., Baycan, A., Giziroğlu, E., Şimsek, E., & Polat, İ. (2024). Extraction of phenolic compounds and antioxidant activity analysis of Ficus carica L. seed oil using supercritical fluid technology. *International Journal of Plant Based Pharmaceuticals*, *4*(2), 125-130.
2. Ergun, Z., & Bozkurt, T. (2020). Determination of fatty acid composition and antioxidant activity of fig seed oil. International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 13(2), 101 107.
3. Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2016). Phytochemical composition of common fig (Ficus carica L.) cultivars. In Nutritional composition of fruit cultivars (pp. 235-255). Academic Press.
4. Denli, Z., *Ficus Carica Ekstraktının İnsan Kolon Kanser Hücre Hatlarında Proliferasyon ve İnvazyon Üzerine Etkileri*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2018.
5. Jones, D. P. (2008). Radical-free biology of oxidative stress. American Journal of Physiology Cell Physiology, 295(4), C849-C868.
6. Karabulut, H., & Gülay, M. Ş. (2016). Serbest Radikaller. Mehmet Akif Ersoy University Journal of Health Sciences Institute, 4(1).
7. Deveci, H. A., Nur, G., Kırpık, M., … Harmankaya, A. (2016). Fenolik Bileşik İçeren Bitkisel Antioksidanlar. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 26-32.
8. DEVECİ, H. A., Gökhan, N. U. R., ali KIRPIK, M., HARMANKAYA, A., & YILDIZ, Y. (2016). Fenolik bileşik içeren bitkisel antioksidanlar. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 26-32.
9. Daga, P., Vaishnav, S. R., Dalmia, A., & Tumaney, A. W. (2021). Extraction, fatty acid profile, phytochemical composition and antioxidant activities of fixed oils from spices belonging to Apiaceae and Lamiaceae family. Journal of Food Science and Technology, 1-14.
10. Burgaz, O., Yıldırım, İ., Baycan, A., Giziroğlu, E., Şimsek, E., & Polat, İ. (2024). Extraction of phenolic compounds and antioxidant activity analysis of Ficus carica L. seed oil using supercritical fluid technology. International Journal of Plant Based Pharmaceuticals, 4(2), 125-130.

KRİPTOGRAFİK SÖZDE RASTGELE SAYI ÜRETEÇLERİNİN PERFORMANS VE İSTATİSTİKSEL KARŞILAŞTIRMASI

Doç. Dr. Abdullah SEVİN

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sakarya,

asevin@sakarya.edu.tr - 0000-0001-9694-0870

ÖZET

Bu çalışma, modern bilişim sistemlerinde ve kriptografik protokollerde kritik öneme sahip olan kriptografik sözde rastgele sayı üreteçlerinin performans ve istatistiksel kalite açısından kapsamlı bir karşılaştırmasını sunmaktadır. Araştırma kapsamında; AES-256-CTR, ChaCha20, Yarrow, HMAC-DRBG ve Blum-Blum-Shub (BBS) algoritmaları ele alınmıştır. Metodoloji olarak, algoritmaların ham veri üretim hızları ve işlem gecikmeleri ölçülmüş; eş zamanlı olarak üretilen sayı dizileri Ki-Kare (χ^2), Akış Testi ve Monte Carlo Pi Tahmini gibi gelişmiş istatistiksel test bataryalarına tabi tutulmuştur. Deneysel sonuçlar sanal makine üzerinde kurulu Ubuntu işletim sisteminden alınmıştır ve donanım hızlandırmalı (AES-NI) AES-256-CTR algoritması en yüksek performansı sergilediğini, buna karşın teorik güvenliği ile öne çıkan BBS algoritmasının en düşük Pi hatası (%0.008) ile geometrik olarak en hassas dağılımı sunduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, tüm test edilen üreteçlerin kriptografik olarak güvenli kabul edilen eşik değerleri karşıladığını kanıtlamakla birlikte; yüksek hacimli simülasyonlar için AES-CTR ve ChaCha20'nin, yüksek güvenlikli deterministik ihtiyaçlar için ise HMAC-DRBG'nin en optimal çözümler olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, uygulama gereksinimlerine göre en uygun CSPRNG seçiminin performans ve istatistiksel hassasiyet dengesi üzerinden nasıl yapılması gerektiğine dair önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Kriptografik Sözde Rastgele Sayı Üreteci, Kriptografi, İstatistiksel Testler, AES-CTR, Blum-Blum-Shub, Monte Carlo Metodu.

1. GİRİŞ

Günümüzün dijital dünyasında, güvenli haberleşme ve veri gizliliği mekanizmalarının merkezinde rastgele sayı üretimi yer almaktadır. Şifreleme anahtarlarının türetilmesi, kriptografik protokollerde kullanılan oturum parametreleri ve dijital imzaların bütünlüğü gibi kritik işlemler, doğrudan sayı üreteçlerinin kalitesine dayanmaktadır. Fiziksel kaynaklardan elde edilen gerçek rastgeleliğin maliyetli ve yavaş olması sebebiyle, bilişim sistemlerinde bu gereksinim çoğunlukla sözde rastgele sayı üreteçleri tarafından karşılanmaktadır. Ancak kriptografik güvenliğin söz konusu olduğu senaryolarda, sayı dizilerinin yalnızca istatistiksel testleri geçmesi yeterli görülmemektedir. Kriptografik sözde rastgele sayı üreteçleri, standart üreteçlerden farklı olarak; çıktıların tahmin edilemezliği, geçmiş değerlerin analizinden gelecek

değerlerin kestirilememesi ve iç durumun (internal state) korunması gibi ileri düzey güvenlik kriterlerini sağlamak zorundadır [1-3].

Literatürde; blok şifreleme algoritmaları, akış şifreleyiciler, özetleme (hash) fonksiyonları ve modüler aritmetik temelli sayı teorisi yaklaşımları gibi farklı disiplinlere dayanan pek çok kriptografik sözde rastgele sayı üreteç mimarisi geliştirilmiştir. Önerilen her bir metodoloji; matematiksel ispatlanabilirlik, hesaplama yükü, donanım kaynak tüketimi ve verimlilik başlıklarında kendine has avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Özellikle nesnelerin interneti (IoT) cihazları, bulut bilişim altyapıları ve gerçek zamanlı sistemlerde, yüksek güvenlik düzeyinden ödün vermeden işlem birimlerini asgari düzeyde yoracak üreteçlerin tespiti büyük önem kazanmıştır. Bu noktada, akademik olarak kusursuz kabul edilen bir üretecin gerçek hayat uygulamalarında bir darboğaz oluşturup oluşturmayacağı kritik bir araştırma konusudur. Mevcut çalışmaların büyük bir kısmı algoritmaların teorik dayanıklılığına yoğunlaşırken, farklı çalışma prensiplerine sahip üreteçlerin aynı platform üzerinde performans ve istatistiksel doğruluk açısından karşılaştırıldığı analizler nispeten daha azdır [4-6].

Bu araştırmada, farklı kriptografik yaklaşımları temsil eden seçkin üreteçlerin hem performans hem de veri kalitesi parametreleri deneysel bir çerçevede incelenmiştir. Bu amaçla; AES-256-CTR, ChaCha20, Yarrow, HMAC-DRBG ve Blum-Blum-Shub (BBS) üreteçleri özdeş donanım ve yazılım kütüphaneleri kullanılarak test edilmiştir. Çalışmada sadece veri üretim hızları değil; aynı zamanda üretilen sayı dizilerinin Ki-Kare dağılımları, akış test analizleri ve Monte Carlo simülasyon hassasiyetleri gibi istatistiksel metrikler de ölçülmüştür. Elde edilen deneysel veriler, farklı kullanım alanları için güvenlik ve hız arasındaki optimal dengeyi saptamayı ve sistem tasarımcıları için veri temelli bir rehber oluşturmayı hedeflemektedir.

2. KRİPTOGRAFİK SÖZDE RASTGELE SAYI ÜRETEÇLER

Kriptografik sözde rastgele sayı üreteçleri, çıktı olarak sundukları veri dizilerinin sadece yüzeysel bir rastgelelik sergilemesini değil; aynı zamanda saldırganlara karşı kestirilemezlik ve geçmişe dönük izlenemezlik gibi ileri düzey güvenlik kalkanları oluşturmasını hedefleyen matematiksel algoritmalardır. Bu yapılar tasarlanırken; blok şifreleme metodolojileri, akış şifreleyici mimariler, kriptografik özetleme fonksiyonları ya da karmaşık sayı teorisi prensipleri temel bileşen olarak kullanılmaktadır. Modern kriptografik sistemlerde; güvenli anahtar türetimi, rastgele değer ataması gerektiren ağ protokolleri ve uçtan uca korumalı haberleşme mimarileri için bu üreteçlerin sunduğu teminatlar hayati bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, bir üreteç sisteminin sadece teorik güvenlik seviyesinin değil, aynı zamanda operasyonel ortamdaki performans dinamiklerinin de titizlikle analiz edilmesi, sistemin sürdürülebilirliği ve etkinliği açısından bir zorunluluktur [7-8].

2.1. AES-CTR

AES-CTR tabanlı kriptografik sözde rastgele sayı üreteci, Gelişmiş Şifreleme Standardı (Advanced Encryption Standard) algoritmasının sayaç (Counter - CTR) çalışma modu ile entegre edilmesiyle oluşturulan bir mekanizmadır. Bu mimaride, statik bir gizli anahtar ile periyodik olarak artırılan bir sayaç değeri AES çekirdeğine girdi olarak aktarılmakta ve sonucunda üretilen şifreli veri blokları, rastgele sayı dizileri olarak işlenmektedir. AES-CTR DRBG'nin sunduğu yüksek veri üretim hızı ve işlemci seviyesindeki donanım hızlandırma

destekleri (AES-NI), algoritmanın modern bilişim platformlarında ve yoğun trafikli kriptografik uygulamalarda temel bir çözüm olarak tercih edilmesini sağlamaktadır [9].

2.2. ChaCha20 DRBG

ChaCha20 tabanlı kriptografik sözde rastgele sayı üreteci, bir akış şifreleyici olan ChaCha20 algoritmasının iç durum (internal state) dönüşüm mekanizmalarını kullanarak rastgele veri dizileri üretmektedir. Algoritmanın çekirdeğini oluşturan iç durum yapısı; sabit bir anahtar, başlangıç vektörü (nonce) ve sayaç parametrelerinin belirli bir matris düzeninde işlenmesiyle sürekli yenilenmekte ve bu süreçten yüksek entropili çıktı blokları türetilmektedir. ChaCha20-DRBG, özel donanım hızlandırma birimlerine (AES-NI gibi) ihtiyaç duymaksızın, saf yazılım katmanında sergilediği üstün işlem hızı ve düşük gecikme süreleriyle öne çıkmaktadır. Bu karakteristik özellikleri, algoritmayı özellikle mobil cihazlar, gömülü sistemler ve modern ağ protokollerinde AES tabanlı yöntemlere güçlü bir alternatif olarak konumlandırmaktadır [10-11].

2.3. Blum–Blum–Shub (BBS)

Blum–Blum–Shub (BBS) prensibine dayalı sözde rastgele sayı üreteci, büyük asal sayıların çarpımı sonucunda elde edilen modül değeri üzerinden gerçekleştirilen karesel operasyonlar aracılığıyla rastgele veri dizileri oluşturmaktadır. Sistemin güvenlik temeli, tam sayıların asal çarpanlarına ayrılması probleminin hesaplama zorluğuna dayanmakta ve bu yönüyle algoritma, kriptografik açıdan ispatlanabilir güvenlik sunan bir mimari sergilemektedir. BBS mekanizması, her işlem döngüsünde bir önceki durumun karesinin modüler aritmetik ile hesaplanması ve bu sonuçtan belirli bitlerin (genellikle LSB) elde edilmesi prensibini işletmektedir. Teorik düzlemde en üst düzey rastgelelik karakteristiklerine sahip olmasına karşın, her bir bit üretimi için gereken yoğun matematiksel hesaplamalar algoritmanın performansını sınırlamaktadır. Bu nedenle BBS, pratik sistemlerde diğer kriptografik üreteçlerle kıyaslandığında belirgin şekilde daha yüksek gecikme süreleri ve daha kısıtlı bir üretim kapasitesi ortaya koymaktadır [12-13].

2.4. HMAC-DRBG

HMAC-DRBG [14], NIST tarafından yayınlanan deterministik rastgele bit üreteci (DRBG) standartları içerisinde yer alan ve kriptografik özetleme (hash) fonksiyonlarını temel alan bir sayı üretim mekanizmasıdır. Algoritma, iç durum güncellemelerini HMAC yapısı üzerinden gerçekleştirmekte ve üretilen dizilerin kestirilemezliğini kullanılan hash fonksiyonunun tek yönlülük ve çakışma direnci gibi güvenlik özelliklerine dayandırmaktadır. Yüksek güvenlik hassasiyeti bulunan senaryolarda üstün istatistiksel karakteristikler sunan HMAC-DRBG, her bir çıktı blok üretimi için tekrarlanan hash operasyonları gerektirdiğinden önemli bir hesaplama yükü oluşturmaktadır. Bu mimari özellik, performansın öncelikli olduğu uygulama alanlarında üretim hızının düşmesine ve gecikme sürelerinin diğer kriptografik alternatiflere oranla daha yüksek seviyelerde seyretmesine neden olmaktadır [15-16].

2.5. Yarrow

Yarrow algoritması, sistem kaynaklarından elde edilen düzensiz entropi verilerini güvenilir ve kriptografik olarak güçlü rastgele dizilere dönüştürmek amacıyla tasarlanmış havuz tabanlı (pool-based) bir sözde rastgele sayı üretecidir. Algoritmanın temel mimarisi; düşük hızda ve

yüksek hızda çalışan iki ayrı entropi havuzu ile bir tohumlama mekanizmasından oluşmaktadır. Bu çift havuzlu yapı, üretecin hem sürekli bir çıktı akışı sağlamasına hem de sistemin iç durumuna yönelik olası tahmin saldırılarına karşı direnç göstermesine olanak tanımaktadır. Pratik uygulamalarda genellikle AES gibi güçlü bir blok şifreleyiciyi çekirdek motor olarak kullanan Yarrow, ham performans verilerinde saf AES-CTR'den bir miktar yavaş kalsa da dinamik entropi yönetimi sayesinde yüksek bir güvenlik marjı sunmaktadır. Özellikle işletim sistemi seviyesindeki rastgelelik gereksinimlerinde ve yüksek öngörülemezlik aranan hibrit sistemlerde Yarrow, esnek yapısı ve ileriye dönük gizlilik özellikleriyle kritik bir çözüm olarak değerlendirilmektedir [17-18].

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, seçilen kriptografik sözde rastgele sayı üreteçlerinin performans ve istatistiksel kalite analizlerinden elde edilen veriler sunulmakta ve karşılaştırmalı olarak yorumlanmaktadır. Deneysel sonuçlar (Çizelge 1) sanal makine üzerinde kurulu Ubuntu işletim sisteminden alınmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen throughput (üretim hızı) verileri, algoritmaların mimari yapıları ve donanım ivmelendirme destekleri arasında dramatik farklar olduğunu ortaya koymuştur. AES-256-CTR algoritması, modern işlemcilerde bulunan AES-NI donanım desteği sayesinde 8898.89 MB/s ile en yüksek hıza ulaşmıştır. Bu sonuç, donanım seviyesinde optimize edilmiş blok şifreleme tabanlı üreteçlerin, yüksek hacimli veri simülasyonları için en verimli çözüm olduğunu kanıtlamaktadır. Saf yazılım tabanlı bir akış şifreleyici olan ChaCha20, 2650.39 MB/s ile AES'in ardından ikinci sırada yer almıştır. Özel bir donanım desteğine ihtiyaç duymadan sergilenen bu performans, ChaCha20'nin mobil ve gömülü platformlar için neden güçlü bir aday olduğunu göstermektedir. Buna karşın, karmaşık modüler aritmetik işlemlere dayanan Blum-Blum-Shub (BBS) üreteci, 3516.92 KB/s hız ile en yavaş performansı sergilemiş; teorik güvenlik ile operasyonel hız arasındaki ters korelasyonu açıkça ortaya koymuştur.

İstatistiksel analizler, tüm algoritmaların kriptografik standartları karşıladığını ancak dağılım hassasiyetlerinde nüanslar bulunduğunu göstermiştir. Bit Oranı ve Dağılım: Tüm üreteçler 0.50 ideal bit oranını sağlayarak bit düzeyinde tarafsızlık sergilemiştir. Ki-Kare (χ^2) Analizi: 1023 serbestlik derecesinde yapılan testlerde, tüm değerlerin 999.6 ile 1052.4 aralığında (kritik değer olan 1098.5'in altında) kalması, üretilen sayıların örneklem uzayında üniform olarak dağıldığını doğrulamaktadır. Runs Testi (Akış Analizi): Tüm algoritmaların Z-skorları < 1.96 güven aralığında sonuç vermiştir. Özellikle HMAC-DRBG (0.79) ve BBS (-0.76) değerlerinin sıfıra yakınlığı, bu üreteçlerin dizisel bağımsızlık konusunda oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Monte Carlo simülasyonu üzerinden yapılan Pi tahmini, üreteçlerin çok boyutlu düzlemdeki rastgelelik kalitesini ölçmek için kullanılmıştır. BBS algoritması, en düşük üretim hızına sahip olmasına rağmen %0.008 ile en düşük Pi hata payını sunarak teorik gücünü pratik dağılım başarısıyla desteklemiştir. AES-256-CTR ise %0.018 hata payı ile hızına rağmen yüksek bir geometrik hassasiyet sunduğunu kanıtlamıştır.

Çizelge 1. Kriptografik sözde rastgele sayı üreteçlerinin performans ve istatistiksel karşılaştırması

Algoritma	Üretim Hızı (Throughput)	Bit Oranı (Bias)	Ki-Kare ($\chi 2$)	Akış (Runs Z)	π Hata Payı
AES-256-CTR	8898.89 MB/s	0.50	999.6	1.88	%0.018
ChaCha20	2650.39 MB/s	0.50	1036.4	-1.44	%0.038
Yarrow	1268.75 MB/s	0.50	1007.5	1.42	%0.046
HMAC-DRBG	190.23 MB/s	0.50	1005.4	0.79	%0.152
BBS	3516.92 KB/s	0.50	1052.4	-0.76	%0.008

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, modern kriptografik sistemlerin temel bileşenlerinden olan beş farklı sözde rastgele sayı üreteci (AES-256-CTR, ChaCha20, Yarrow, HMAC-DRBG ve Blum-Blum-Shub), performans ve istatistiksel kalite parametreleri açısından deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler, üreteçlerin mimari tasarımlarının operasyonel verimlilik üzerinde belirleyici bir role sahip olduğunu göstermiştir. Donanım hızlandırma desteğiyle (AES-NI) AES-256-CTR algoritması en yüksek performansı sergilemiş; yüksek hacimli veri simülasyonları ve gerçek zamanlı şifreleme ihtiyaçları için en optimal çözüm olduğunu kanıtlamıştır. Yazılım tabanlı bir alternatif olan ChaCha20, özellikle özel donanım birimi bulunmayan platformlar için AES'e en güçlü rakip olarak öne çıkmıştır.

İstatistiksel analizler sonucunda, test edilen tüm algoritmaların Ki-Kare, Akış testi (Runs) ve Monte Carlo Pi Tahmini testlerini başarıyla geçtiği görülmüştür. Bu durum, incelenen üreteçlerin tamamının kriptografik güvenlik standartlarını karşıladığını ve üretilen sayı dizilerinin yüksek derecede üniform dağılım sergilediğini doğrulamaktadır. Teorik olarak en güvenli yapı kabul edilen BBS algoritması, en düşük üretim hızına sahip olmasına rağmen geometrik hassasiyet (Pi Hata Payı: %0.008) açısından en başarılı sonuçları vermiştir. Hibrit bir yapı sunan Yarrow ve hash tabanlı HMAC-DRBG ise güvenlik ve hız arasında dengeli birer alternatif olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kriptografik sayı üreteci seçiminde uygulama senaryosunun gereksinimleri (hız, donanım desteği veya ispatlanabilir güvenlik) belirleyici olmalıdır.

KAYNAKÇA

[1] Bikos, A., Nastou, P. E., Petroudis, G., & Stamatiou, Y. C. (2023). Random number generators: Principles and applications. Cryptography, 7(4), 54.

[2] Johnston, D. (2018). Random Number Generators—Principles and Practices: A Guide for Engineers and Programmers. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

[3] Röck, A. (2005). Pseudorandom number generators for cryptographic applications (p. 131). na.

[4] Stipčević, M., & Koç, Ç. K. (2014). True random number generators. In Open problems in mathematics and computational science (pp. 275-315). Cham: Springer International Publishing.

[5] Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., & Barker, E. (2001). A statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications (No. NISTSP80002).

[6] Kelsey, J., Schneier, B., Wagner, D., & Hall, C. (1998, March). Cryptanalytic attacks on pseudorandom number generators. In International workshop on fast software encryption (pp. 168-188). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[7] Zenil, H. (Ed.). (2011). Randomness through computation: Some answers, more questions. World Scientific.

[8] Goldreich, O. (1998). Modern cryptography, probabilistic proofs and pseudorandomness (Vol. 17). Springer Science & Business Media.

[9] Hellekalek, P., & Wegenkittl, S. (2003). Empirical evidence concerning AES. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS), 13(4), 322-333.

[10] Chung, W., Kim, H., Lee, J., & Lee, Y. (2024, December). Provable security of Linux-DRBG in the seedless robustness model. In International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security (pp. 461-490). Singapore: Springer Nature Singapore.

[11] Erişim Zamanı 12.12.2025 https://www.chronox.de/chacha20_drng/

[12] Blum, L., Blum, M., & Shub, M. (1986). A simple unpredictable pseudo-random number generator. SIAM Journal on computing, 15(2), 364-383.

[13] Ding, C. (1997). Blum-blum-shub generator. Electronics Letters, 33(8), 677-677.

[14] Elaine Barker and John Kelsey. Recommendation for Random Number Generation Using Deterministic Random Bit Generators (Revised). Technical report, NIST, 2007.

[15] Ye, K. (2016). The Notorious PRG: Formal Verification Of The HMAC-DRBG Pseudorandom Number Generator, Thesis.

[16] Kan, W. (2007). Analysis of underlying assumptions in NIST DRBGs. Cryptology ePrint Archive.

[17] Kelsey, J., Schneier, B., & Ferguson, N. (1999, August). Yarrow-160: Notes on the design and analysis of the yarrow cryptographic pseudorandom number generator. In International workshop on selected areas in cryptography (pp. 13-33). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[18] Almaraz Luengo, E., & Román Villaizán, J. (2023). Cryptographically secured pseudo-random number generators: Analysis and testing with NIST statistical test suite. Mathematics, 11(23), 4812.

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

SİMÜLASYONLARDA KULLANILAN SÖZDE RASTGELE SAYI ÜRETEÇLERİNİN PERFORMANS VE İSTATİSTİKSEL KARŞILAŞTIRMASI

Doç. Dr. Abdullah SEVİN

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sakarya,

asevin@sakarya.edu.tr - 0000-0001-9694-0870

ÖZET

Sözde Rastgele Sayı Üreteçleri (PRNG), belirli bir başlangıç değerinden hareket ederek matematiksel algoritmalar aracılığıyla rastgele görünen sayı dizileri üreten deterministik sistemlerdir. Bu üreteçler; kriptografiden iklim modellemelerine, oyun motorlarından karmaşık sistem simülasyonlarına kadar dijital dünyanın güvenilirliğini ve doğruluğunu belirleyen kritik bir role sahiptir. Bu çalışma, bilgisayar simülasyonlarının temel bileşeni olan sözde rastgele sayı üreteçlerinin performans ve istatistiksel kalite açısından kapsamlı bir karşılaştırmasını sunmaktadır. Çalışma kapsamında; Doğrusal Eşlikli Üreteç (LCG-64), Xorshift64, PCG32, Mersenne Twister (MT19937) ve Hücresel Otomat tabanlı Rule30 algoritmaları ele alınmıştır. Metodolojik tutarlılığı sağlamak amacıyla, hafif sıklet üreteçlerin tamamı 64-bit iç durum (state) kapasitesine sabitlenmiş ve 32-bit çıktı üretecek şekilde konfigüre edilmiştir. Üreteçler; işlem hacmi (throughput), bit yoğunluğu, 1024 serbestlik dereceli Ki-Kare (χ^2) testi, medyan tabanlı Akış (Runs) testi ve Monte Carlo Pi tahmini gibi zorlayıcı metriklerle test edilmiştir. Elde edilen bulgular, LCG-64'ün 636 M/s ile en yüksek hıza ulaştığını, ancak PCG32'nin hız ve istatistiksel doğruluk (0.0097% Pi hatası) arasında en optimal dengeyi sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, kural tabanlı Rule30 algoritmasının yüksek kaliteli rastgelelik üretmesine rağmen hesaplama maliyetinin yazılım tabanlı simülasyonlar için verimsiz olduğu saptanmıştır. Bu çalışma, simülasyonun türüne ve donanım kısıtlarına göre en uygun sözde rastgele sayı üreteç seçiminde bilimsel bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : PRNG, Simülasyon, Ki-Kare Testi, PCG32, Monte Carlo, Rastgelelik.

1. GİRİŞ

Bilimsel araştırmalarda ve mühendislik disiplinlerinde, karmaşık sistemlerin dinamiklerini modellemek ve gelecekteki davranışlarını kestirmek amacıyla bilgisayar simülasyonlarına sıklıkla başvurulmaktadır. Bu modellerin gerçek dünya olgularını sadakatle yansıtabilmesi için rastgelelik, sistemin ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilmektedir. Ancak, dijital hesaplama birimleri doğası gereği deterministik yapıda olduğundan, bu rastgelelik ihtiyacı belirli matematiksel formüllerle sayı dizileri üreten Sözde Rastgele Sayı Üreteçleri (Pseudo Random Number Generators – PRNG) aracılığıyla karşılanmaktadır. PRNG algoritmaları, simülasyonların sonuçlarında yüksek doğruluk ve tekrar edilebilirlik sağlarken, aynı zamanda yazılımın genel hesaplama performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir [1-3].

Literatürde yer alan PRNG mimarileri; işlem hacmi (throughput), durum belleği (state memory) gereksinimleri ve istatistiksel homojenlik gibi kriterler açısından geniş bir yelpazede çeşitlilik göstermektedir. Geleneksel Doğrusal Eşlikli Üreteçler (LCG) düşük hesaplama maliyetleri ile öne çıkarken, Xorshift gibi bit kaydırma tabanlı modern yaklaşımlar daha yüksek hız ve iyileştirilmiş rastgelelik kalitesi vaat etmektedir. Öte yandan, Mersenne Twister (MT19937) gibi geniş durum belleğine sahip algoritmalar bilimsel standart kabul edilse de, her uygulama senaryosu için gereken kaynak verimliliğini sağlayamamaktadır. Bu bağlamda, farklı matematiksel kökenlere sahip algoritmaların, özellikle "hafif sıklet" konfigürasyonlarda sergiledikleri performans ile rastgelelik kalitesi arasındaki dengenin nicel olarak analiz edilmesi gereken bir boşluktur [4-6].

Bu çalışma, simülasyon dünyasında yaygın olarak kullanılan beş farklı algoritmanın (LCG-64, Xorshift64, PCG32, MT19937 ve hücresel otomat tabanlı Rule30) performans ve doğruluk karakteristiğini deneysel verilerle ortaya koymaktadır. Metodolojik bir karşılaştırma zemini oluşturmak adına, referans algoritma MT19937 dışındaki tüm üreteçler 64-bit iç durum kapasitesine sabitlenmiş ve 32-bit çıktı üretecek şekilde konfigüre edilmiştir. Çalışmada sadece üretim hızları (M/s) değil; aynı zamanda Ki-Kare (χ^2), Akış (Runs) testi ve Monte Carlo Pi tahmini gibi zorlayıcı istatistiksel metrikler kullanılarak algoritmaların teorik vaatleri ile pratik çıktıları arasındaki korelasyon incelenmiştir. Elde edilen bulgular, hız ve istatistiksel hassasiyet dengesini gözeten en uygun PRNG seçiminde araştırmacılar için somut bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır.

2. SÖZDE RASTGELE SAYI ÜRETEÇLERİ

2.1. Doğrusal Eşlikli Üreteç (LCG)

Doğrusal Eşlikli Üreteç (LCG), sözde rastgele sayı üretim teknolojilerinin tarihsel gelişiminde köşe taşı niteliği taşıyan ve matematiksel sadeliğiyle öne çıkan bir algoritmadır. Dizideki her bir yeni terim, bir önceki değerin belirli bir çarpan (a) ile işlenmesi, bir sabit (c) eklenmesi ve elde edilen toplamın bir modül değerine (m) bölünmesiyle elde edilen kalan üzerinden türetilir. Başlangıç noktası olan tohum (seed) değeri, tüm serinin deterministik akışını belirler. LCG-64 modelinin en belirgin avantajı, donanım kaynaklarını asgari düzeyde kullanması ve işlemci çevrimlerini yormayan yüksek üretim hızıdır. Bu verimlilik; gerçek zamanlı grafik işleme sistemleri, düşük enerji tüketimli gömülü cihazlar ve temel düzeydeki olasılık modellerinde algoritmanın yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Ancak, algoritmanın içsel yapısı gereği ürettiği sayıların spektral analizlerde doğrusal örüntüler (kafes yapısı) sergilemesi, çok boyutlu simülasyonlarda güvenilirliğini zedeleyebilir. Parametre seçimindeki hassasiyet ve kısa periyot riski, LCG'yi yüksek hassasiyetli bilimsel modeller veya kriptografik sistemler için yetersiz kılsa da, performans odaklı uygulamalarda hâlâ temel bir kıyaslama ölçeği olarak kabul edilmektedir [7-8].

2.2. Mersenne Twister (MT19937)

Mersenne Twister (MT19937), modern bilimsel hesaplamalarda ve istatistiksel modelleme çalışmalarında altın standart olarak kabul edilen bir sözde rastgele sayı üretecidir. 1997 yılında Matsumoto ve Nishimura tarafından literatüre kazandırılan bu algoritma, özellikle 2^{19937}-1 gibi devasa bir periyot uzunluğuna sahip olmasıyla geleneksel yöntemlerden ayrışmaktadır. Bu

benzersiz periyot kapasitesi, algoritmanın çok yüksek boyutlu doğrusal bağımsızlık sergilemesini sağlayarak, LCG gibi klasik üreteçlerin karşılaştığı spektral örüntü sorunlarını aşmaktadır. Algoritma, 32-bitlik veri bloklarını yüksek bir homojenlikle üretmesi sayesinde Monte Carlo simülasyonları ve karmaşık fiziksel modellemeler gibi yüksek hassasiyet gerektiren alanlarda birincil tercih haline gelmiştir. Ancak, MT19937'nin tasarımındaki bu kapsamlı rastgelelik kalitesi, beraberinde belirli bir hesaplama maliyeti getirmektedir. Öngörülebilir doğası gereği kriptografik amaçlar için uygun olmasa da, uzun vadeli simülasyonlarda sunduğu tutarlı rastgelelik performansı ile bilimsel geçerliliği en yüksek üreteçlerden biridir [9-10].

2.3. Xorshift

George Marsaglia tarafından 2003 yılında tanıtılan Xorshift üreteçleri, kaydırmalı geribeslemeli yazmaçların (LFSR) özel bir alt kümesi olarak kabul edilen ve işlemci seviyesinde son derece verimli çalışan bir PRNG ailesidir. Bu algoritmaların temel işleyiş prensibi, bir tamsayı değişkeninin kendi bit kaydırılmış (shift) versiyonlarıyla ardışık olarak dışlayıcı veya (XOR) işlemine tabi tutulmasına dayanmaktadır. Xorshift64 varyasyonunda, 64-bitlik iç durum değişkeni üzerine uygulanan bu atomik bit manipülasyonları, karmaşık çarpma veya modüler aritmetik işlemleri gerektirmediği için hesaplama maliyetini minimize etmektedir. Teorik olarak Xorshift, modern CPU mimarilerinde bulunan komut seti paralelliğinden en üst düzeyde yararlanacak şekilde tasarlanmıştır. Algoritma, uygun kaydırma parametreleri seçildiğinde 2^{64}-1 gibi tatmin edici bir periyot uzunluğuna ulaşmakta ve genel amaçlı simülasyonların ihtiyaç duyduğu istatistiksel gereksinimleri karşılamaktadır. Bununla birlikte, Xorshift üreteçlerinin matematiksel yapısı "doğrusal" (linear) olduğu için, bazı gelişmiş istatistiksel test bataryalarında belirli bit örüntülerinde zayıflıklar sergileyebilmektedir. Bu nedenle, kriptografik uygulamalar yerine daha çok performansın ve düşük bellek kullanımının (yalnızca 8 byte) öncelikli olduğu yüksek hızlı bilimsel hesaplamalarda tercih edilmektedir [11-13].

2.4. PCG

Permütasyonlu Uyumlu Üreteç (PCG32), geleneksel sayı üretim metodolojilerinin hız avantajını koruyarak, çıktı kalitesini yeni nesil matematiksel tekniklerle yükselten modern bir PRNG mimarisidir. Algoritmanın çalışma prensibi, "doğrusal bir durum geçiş fonksiyonu" ile bu durumdan türetilen çıktıları maskeleyen "doğrusal olmayan bir permütasyon fonksiyonunun" kombinasyonuna dayanmaktadır. İç yapısında 64-bitlik bir Doğrusal Eşlikli Üreteç (LCG) çekirdeği barındıran PCG32, bu 64-bitlik ham veriyi doğrudan çıktı olarak vermek yerine; bit döndürme (rotation), kaydırma (shift) ve karıştırma işlemlerinden geçirerek 32-bitlik yüksek kaliteli rastgele sayılar üretir. Teorik açıdan PCG32'nin temel amacı, LCG'lerin spektral testlerde sergilediği zayıflıkları ve Xorshift gibi üreteçlerin belirli bit dizilimlerindeki korelasyon sorunlarını bertaraf etmektir. Permütasyon aşaması, iç durumdaki matematiksel periyodikliği kırarak çıktıların çok daha üniform bir dağılım sergilemesini sağlar. Bu mimari, algoritmanın hem minimal bellek ayak iziyle çalışmasına hem de Mersenne Twister gibi devasa durum tablolarına ihtiyaç duymadan benzer istatistiksel doğruluk seviyelerine ulaşmasına imkan tanımaktadır. Kriptografik bir koruma vaat etmese de, hız ve güvenilirlik arasındaki dengeyi optimize etmesi nedeniyle yüksek performanslı bilimsel modellemelerde ve hassas simülasyon ortamlarında ideal bir tercih olarak konumlanmaktadır [14-15].

2.5. Hücresel Otomat Tabanlı Üreteç (Rule 30)

Stephen Wolfram tarafından 1983 yılında önerilen Rule 30, tek boyutlu hücresel otomat sistemlerinin sergilediği kaotik dinamikleri temel alan özgün bir sözde rastgele sayı üretim yöntemidir. Bu metodolojide rastgelelik, karmaşık matematiksel formüller yerine, basit ve yerel etkileşim kurallarının iteratif olarak uygulanmasıyla elde edilir. Algoritma, her bir hücrenin durumunu (0 veya 1), bir önceki zaman adımındaki kendisi ve en yakın iki komşusunun (sol ve sağ) durumuna göre belirli bir mantıksal kural seti çerçevesinde güncellemektedir. Teorik yapısı gereği Rule 30, hesaplama evrenindeki "basit kurallardan doğan karmaşıklık" ilkesinin en somut örneklerinden biridir. Sistemin merkez sütununda zamanla oluşan bit dizisi, son derece yüksek bir istatistiksel düzensizlik ve öngörülemezlik sergileyerek kriptografik açıdan dahi dikkat çekici bir rastgelelik kalitesi sunmaktadır. Sınır koşullarının genellikle döngüsel (toroidal) bir yapıda kurgulanması, üretilen dizideki doğrusal bağımlılıkların minimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Algoritma, düşük bellek ayak izi ve bit düzeyindeki operasyonel sadeliği sayesinde donanım tabanlı rastgele sayı üreteçleri ve gömülü sistemler için teorik bir temel oluşturmaktadır. Her ne kadar yazılım ortamındaki saf üretim hızı, her bir bit için tüm sistemin güncellenmesi zorunluluğu nedeniyle PCG32 veya LCG gibi cebirsel rakiplerinden farklı bir performans profili çizse de, sergilediği deterministik kaos yapısı onu modern simülasyon araştırmalarında vazgeçilmez bir karşılaştırma figürü kılmaktadır [16-18].

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, seçilen sözde rastgele sayı üreteçlerinin 64-bit iç durum kapasitesindeki performans verileri ve istatistiksel test sonuçları analiz edilmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler (Çizelge 1), algoritmaların matematiksel karmaşıklığı ile üretim hızları arasında ters bir korelasyon olduğunu doğrulamıştır. LCG-64, sadece basit bir modüler aritmetik işlemi kullanması sayesinde 636.54 M/s ile en yüksek üretim hızına ulaşmıştır. Onu, yalnızca bit kaydırma ve XOR operasyonlarına dayanan Xorshift64 (462.39 M/s) ve LCG tabanlı olmasına rağmen çıktı aşamasında permütasyon uygulayan PCG32 (474.91 M/s) takip etmektedir. Öte yandan, bilimsel referans olarak kullanılan MT19937, geniş durum belleği yönetimi nedeniyle 128.60 M/s hızda kalarak hafif sıklet rakiplerinin gerisinde kalmıştır. En düşük performans ise 12.79 M/s ile Rule30-64 algoritmasında gözlemlenmiştir. Bu durum, hücresel otomatların her bir bit üretimi için tüm hücre dizisini güncelleme zorunluluğunun getirdiği yüksek hesaplama maliyetini açıkça ortaya koymaktadır.

Tüm üreteçlerin bit oranları (Bit Ratio) 0.50 seviyesinde gerçekleşerek bit düzeyinde tarafsız olduklarını kanıtlamıştır. 1024 serbestlik derecesinde gerçekleştirilen Ki-Kare testi sonuçları incelendiğinde; tüm algoritmaların kritik değerlerin içinde kalarak üniform (eş dağılımlı) bir yapı sergilediği saptanmıştır. Özellikle Xorshift64 (969.58) ve MT19937 (969.87), beklenen teorik değere en yakın sonuçları vererek yüksek dağılım kalitesi sunmuştur.

Üretilen sayı dizilerinin ardışık bağımsızlığını ölçen Akış testi sonuçlarında, tüm değerlerin ± 1.96 güven aralığında kaldığı görülmüştür. PCG32 (-0.5460) ve LCG-64 (-0.8180) algoritmalarının sıfıra en yakın Z-skorlarını üretmesi, bu üreteçlerin dizisel bağımlılık riskinin düşük olduğunu ve simülasyonlarda rastgelelik kalitesini koruduğunu göstermektedir.

Algoritmaların çok boyutlu düzlemdeki rastgelelik kalitesini ölçen Monte Carlo Pi simülasyonunda, PCG32 ve Rule30-64 algoritmaları %0.0097 hata payı ile en üstün performansı sergilemiştir. Özellikle PCG32'nin hem yüksek hızda çalışıp hem de bu kadar düşük bir hata payı sunması, algoritmanın performans-kalite dengesi açısından en optimal seçenek olduğunu kanıtlamaktadır. Buna karşın, MT19937'nin bu testteki görece yüksek hata payı (%0.1319), algoritmanın simülasyon süresi boyunca henüz yeterli yakınsamaya ulaşamadığını veya durum güncellemelerindeki maliyetin test süresini etkilediğini düşündürmektedir.

Çizelge 1. Sözde rastgele sayı üreteçlerinin performans ve istatistiksel karşılaştırması

Algoritma	Üretim Hızı (M/s)	Bit Oranı (Bias)	Ki-Kare ($\chi 2$)	Akış (Runs Z)	π Hata Payı (%)
LCG-64	636.54	0.5001	973.41	-0.8180	0.0158
Xorshift64	462.39	0.4999	969.58	0.8860	0.0168
PCG32	474.91	0.5000	1032.72	-0.5460	0.0097
MT19937	128.60	0.5000	969.87	1.3580	0.1319
Rule30-64	12.79	0.5000	1077.79	1.3220	0.0097

4. SONUÇ

Bu çalışmada, bilgisayar simülasyonlarının temel bileşeni olan beş farklı sözde rastgele sayı üreteci (PRNG); üretim hızı, istatistiksel kalite ve geometrik hassasiyet kriterleri çerçevesinde kapsamlı bir karşılaştırmalı analize tabi tutulmuştur. Metodolojik tutarlılığı sağlamak adına 64-bit iç durum kapasitesine sabitlenen algoritmalar, farklı uygulama senaryoları için sundukları avantaj ve dezavantajlar açısından değerlendirilmiştir.

Deneysel bulgular, LCG-64 algoritmasının 636.54 M/s throughput değeri ile hesaplama hızı bakımından rakipsiz olduğunu göstermiştir. Ancak bu hız avantajına karşın, istatistiksel doğruluk ve geometrik rastgelelik testlerinde PCG32 algoritmasının çok daha dengeli bir profil çizdiği saptanmıştır. Özellikle PCG32'nin %0.0097 gibi oldukça düşük bir Pi hata payı sunması, çıktılarındaki permütasyon aşamasının rastgelelik kalitesini artırmada ne kadar etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Bu sonuçlar ışığında PCG32, yüksek performanslı bilimsel simülasyonlar için hız ve güvenilirlik arasındaki en optimal dengeyi sunan algoritma olarak öne çıkmaktadır.

Hücresel otomat tabanlı Rule 30 algoritması, istatistiksel olarak PCG32 ile benzer bir doğruluk seviyesi sergilemesine rağmen, 12.79 M/s gibi oldukça düşük bir üretim hızında kalmıştır. Bu durum, kural tabanlı kaotik sistemlerin yazılım tabanlı genel amaçlı simülasyonlarda yüksek bir hesaplama maliyeti oluşturduğunu teyit etmektedir. Bilimsel referans olarak ele alınan

MT19937 ise geniş durum belleği yönetimi gereksinimi nedeniyle hafif sıklet rakiplerine göre daha yavaş bir performans sergilemiştir.

Sonuç olarak; PRNG seçimi, hedeflenen simülasyonun karmaşıklığına ve donanım kısıtlarına göre yapılmalıdır. Gerçek zamanlı grafik işleme ve düşük gecikmeli oyun motorları için LCG-64 ve Xorshift64 ideal görünürken; hassas Monte Carlo simülasyonları ve yüksek doğruluk gerektiren fiziksel modellemeler için PCG32 en güçlü aday olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Johnston, D. (2018). Random Number Generators—Principles and Practices: A Guide for Engineers and Programmers. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

[2] L'Ecuyer, P. (2011). Random number generation. In Handbook of computational statistics: concepts and methods (pp. 35-71). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[3] Banks, J. (2005). Discrete event system simulation. Pearson Education India.

[4] Bhattacharjee, K., & Das, S. (2022). A search for good pseudo-random number generators: Survey and empirical studies. Computer Science Review, 45, 100471.

[5] Abdelhaleem, S. H., Abd-El-Hafiz, S. K., & Radwan, A. G. (2024). Analysis and guidelines for different designs of pseudo random number generators. IEEE Access.

[6] Levina, A., Mukhamedjanov, D., Bogaevskiy, D., Lyakhov, P., Valueva, M., & Kaplun, D. (2022). High performance parallel pseudorandom number generator on cellular automata. Symmetry, 14(9), 1869.

[7] Faure, E., Fedorov, E., Myronets, I., & Sysoienko, S. (2022, May). Method for Generating Pseudorandom Sequence of Permutations Based on Linear Congruential Generator. In CMIS (pp. 175-185).

[8] Durrani, O. K., Ali, M. S., Bano, G., & Begum, D. (2025). Performance Analysis of Linear Congruential Random Generator Algorithms Using Python and Java Languages. Journal of Advances in Mathematics and Computer Science, 40(2), 40-52.

[9] Matsumoto, M., & Nishimura, T. (1998). Mersenne twister: a 623-dimensionally equidistributed uniform pseudo-random number generator. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS), 8(1), 3-30.

[10] Jagannatam, A. (2008). Mersenne Twister–A Pseudo random number generator and its variants. George Mason University, Department of Electrical and Computer Engineering.

[11] Marsaglia, G. (2003). Xorshift rngs. Journal of Statistical software, 8, 1-6.

[12] Vigna, S. (2017). Further scramblings of Marsaglia's xorshift generators. Journal of Computational and Applied Mathematics, 315, 175-181.

[13] Panneton, F., & L'ecuyer, P. (2005). On the xorshift random number generators. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS), 15(4), 346-361.

[14] O'neill, M. E. (2014). PCG: A family of simple fast space-efficient statistically good algorithms for random number generation. ACM Transactions on Mathematical Software, 204, 1-46.

[15] Isakov, O., & Voitusik, S. (2024). Comparative analysis of the results of pseudorandom number generators for digital noise generation. Information Technologies and Computer Engineering, 3(21), 53-64.

[16] Hortensius, P. D., Mcleod, R. D., Pries, W., Miller, D. M., & Card, H. C. (2002). Cellular automata-based pseudorandom number generators for built-in self-test. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 8(8), 842-859.

[17] Alonso-Sanz, R., & Bull, L. (2009). Elementary cellular automata with minimal memory and random number generation. Complex Systems, 18(2), 195.

[18] Karmakar, S. (2018). An Experiment with Some Rule 30 and Rule 150 Hybrid Non-linear Cellular Automata for Cryptography. Journal of Cellular Automata, 13.

BÜYÜK DİL MODELLERİNDE ATTENTİON MEKANİZMALARININ AÇIKLAYICILIĞININ YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Volkan ALTINTAŞ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,

volkan.altintas@cbu.edu.tr - 0000-0002-1560-9017

ÖZET

Büyük dil modelleri (Large Language Models – LLM'ler), doğal dil işleme görevlerinde yüksek doğruluk elde etmelerine rağmen, ürettikleri çıktılara ilişkin karar süreçlerinin açıklanabilirliği ve güvenilirliği önemli bir araştırma problemi olarak varlığını sürdürmektedir. Literatürde dikkat (attention) mekanizmaları sıklıkla açıklama aracı olarak kullanılmakta; ancak bu yapıların gerçekten nedensel açıklamalar sunup sunmadığı tartışmalıdır. Bu çalışma, "attention ≠ explanation" yaklaşımını temel alarak LLM kararlarının açıklanabilirliğini basit ve deneysel olarak doğrulanabilir bir çerçevede incelemeyi amaçlamaktadır.

Deneyler, Hugging Face platformunda yer alan AG News veri seti üzerinde, DistilBERT tabanlı bir metin sınıflandırma modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Açıklanabilirlik analizi kapsamında attention tabanlı açıklamalar ile leave-one-out (LOO) temelli post-hoc açıklamalar karşılaştırılmıştır. Açıklamaların güvenilirliği, en önemli kelimelerin silinmesi sonrasında model başarımındaki değişim üzerinden değerlendirilen bir deletion testi ile ölçülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre, temel model %82 doğruluk elde ederken, attention tabanlı açıklamalara göre seçilen kelimelerin silinmesi model başarımında herhangi bir düşüşe yol açmamıştır. Buna karşılık, LOO post-hoc yöntemiyle belirlenen kelimelerin silinmesi doğruluğu %78'e düşürerek %4'lük anlamlı bir performans kaybına neden olmuştur. Bu bulgular, attention ağırlıklarının sezgisel görselleştirmeler sunsa da model kararlarını nedensel olarak açıklamada yetersiz kaldığını, post-hoc açıklanabilirlik yöntemlerinin ise daha güvenilir sinyaller sağladığını göstermektedir.

Bu çalışma, LLM tabanlı sistemlerde güvenilir ve regülasyon uyumlu açıklanabilirlik gereksinimleri açısından basit ama etkili bir deneysel kanıt sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Büyük Dil Modelleri, Açıklanabilir Yapay Zekâ, Attention Mekanizmaları, Post-hoc Analiz, Güvenilir Yapay Zekâ, Doğal Dil İşleme

ÇEVRİMİÇİ ÖDEME SİSTEMLERİNİN BENİMSENMESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN BİREYSEL VE KURUMSAL PERSPEKTİFLERDEN ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHP) İLE ANALİZİ

Zeynep Büşra KARAKOÇ
İstanbul Teknik Üniversitesi,
doganze23@itu.edu.tr - 0009-0005-6019-2774

Dr. Öğr. Üyesi Cafer Erhan BOZDAĞ
İstanbul Teknik Üniversitesi,
bozdagc@itu.edu.tr - 0000-0003-4522-9071

ÖZET

Çevrimiçi ödeme sistemleri, dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte hem bireysel hem de kurumsal kullanıcılar açısından vazgeçilmez bir finansal araç hâline gelmiştir. Bu sistemlerin benimsenmesini etkileyen faktörler, kullanıcı türüne göre farklılaşabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörleri bireysel ve kurumsal müşteri perspektiflerinden, ortak bir kriter yapısı çerçevesinde analiz etmek ve bu faktörleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile önceliklendirmektir.

Çalışmada algılanan fayda, kullanım kolaylığı, güvenlik ve algılanan risk, sosyal etki, kolaylaştırıcı koşullar, algılanan maliyet, algılanan güven, uyum, kişisel yenilikçilik ve tutum olmak üzere on ana kriterden ve bu kriterlere bağlı alt kriterlerden oluşan bir karar hiyerarşisi oluşturulmuştur. Araştırma kapsamında veriler; en az bir yıldır çevrimiçi ödeme sistemlerini aktif olarak kullanan bireysel müşterilerden ve işletmesi için çevrimiçi ödeme yöntemlerini kullanan kurumsal firmalardan elde edilmiştir. Bireysel ve kurumsal kullanıcı gruplarından alınan değerlendirmeler doğrultusunda ana ve alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş, kriter ağırlıkları öz değer yöntemi ile hesaplanmıştır. Karşılaştırmaların tutarlılığı, tutarlılık oranı ile test edilmiş ve tüm matrislerin kabul edilebilir eşik değerlerin altında olduğu doğrulanmıştır. Yerel ağırlıklar küresel ağırlıklara dönüştürülerek iki perspektif arasında karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bulgular, bireysel kullanıcıların çevrimiçi ödeme sistemlerini tercih ederken öncelikle hız ve işlem süresinde tasarruf, algılanan gizlilik ve teknik koruma önlemlerine odaklandığını göstermektedir. Buna karşılık kurumsal kullanıcılar açısından veri güvenliği riski, işlem kolaylığı ve ödeme sürecinin basitleştirilmesi ile algılanan finansal risk daha yüksek önceliğe sahiptir. Sonuçlar, bireysel ve kurumsal kullanıcıların aynı kriter setini kullanmalarına rağmen önceliklendirme yaklaşımlarının belirgin biçimde farklılaştığını ortaya koymaktadır. Çalışma, bankalar ve ödeme hizmeti sağlayıcıları için kullanıcı segmentlerine dayalı ürün tasarımı ve stratejik konumlandırma süreçlerinde yol gösterici nitelik taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çevrimiçi Ödeme Sistemleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Çok Kriterli Karar Verme, Kullanıcı Benimsemesi, Bireysel ve Kurumsal Kullanıcılar

AN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE ADOPTION OF ONLINE PAYMENT SYSTEMS FROM INDIVIDUAL AND CORPORATE PERSPECTIVES

Zeynep Büşra KARAKOÇ
Istanbul Technical University,
doganze23@itu.edu.tr - 0009-0005-6019-2774

Assis. Prof. Dr. Cafer Erhan BOZDAĞ
Istanbul Technical University,
bozdagc@itu.edu.tr - 0000-0003-4522-9071

ABSTRACT

Online payment systems have become an indispensable financial instrument for both individual and corporate users with the rapid advancement of digitalization. The factors influencing the adoption of these systems may vary depending on the type of user. The aim of this study is to analyze the factors affecting the adoption of online payment systems from individual and corporate customer perspectives within a unified criteria structure and to prioritize these factors using the Analytic Hierarchy Process (AHP).

In this study, a decision hierarchy consisting of ten main criteria, perceived usefulness, ease of use, security and perceived risk, social influence, facilitating conditions, perceived cost, trust, compatibility, personal innovativeness, and attitude, along with their corresponding sub-criteria was constructed. The data were collected from individual users who have actively used online payment systems for at least one year and from corporate firms that use online payment methods for their business operations. Based on the evaluations obtained from both user groups, pairwise comparison matrices were developed for the main and sub-criteria, and criteria weights were calculated using the eigenvector method. The consistency of the comparisons was tested through the Consistency Ratio (CR), and all matrices were confirmed to satisfy acceptable consistency thresholds. Local weights were then converted into global weights, enabling a comparative analysis between individual and corporate perspectives.

The findings indicate that individual users primarily prioritize speed and transaction time efficiency, perceived privacy, and technical protection measures when adopting online payment systems. In contrast, corporate users assign greater importance to data security risk, ease of transaction and payment process simplification, and perceived financial risk. These results demonstrate that although both user groups evaluate online payment systems based on the same set of criteria, their prioritization patterns differ significantly. The study provides practical and analytical insights for banks and payment service providers in developing user-segment-oriented product designs and strategic positioning strategies.

Keywords: Online Payment Systems, Analytic Hierarchy Process (AHP), Multi-Criteria Decision Making, User Adoption, Individual and Corporate Users

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

Dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte çevrimiçi ödeme sistemleri, bireylerin ve kurumların finansal işlemlerinde temel araçlardan biri haline gelmiştir. Dijital finans ekosisteminin önemli bir bileşeni çevrimiçi ödeme yöntemleridir. Finansal işlemler, çevrimiçi ödeme platformları aracılığıyla güvenli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Çevrimiçi olarak banka ve kredi kartları ile yapılan ödemeler, elektronik fon transferleri ve mobil uygulamalar üzerinden kullanılan QR kodlar gibi birçok dijital ödeme yöntemi vardır. Çevrimiçi ödeme sistemlerinin literatürde yaygınlaşması, büyük ölçüde bilgi ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemelerle ve kullanıcı davranışlarındaki değişikliklerle bağlantılıdır. E-ticaret kullanımı ve hacmindeki artış ile mobil teknolojilerin günlük yaşama daha fazla entegre olması, bu ödeme ürünlerinin yaygınlaşmasını hızlandırmıştır. Bu sistemlerin benimsenmesinde hem bireysel kullanıcıların deneyimleri hem de şirketlerin stratejik yönelimleri belirleyici olmaktadır. Bu tez çalışması, hem bireysel müşterilerin çevrimiçi ödeme sistemlerini tercih etme nedenlerini hem de kurumsal aktörlerin bu sistemlere olan yaklaşımını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu iki yönlü değerlendirme hem akademik literatüre katkı sağlayacak hem de kurumlar için stratejik yol haritası sunacaktır.

1.1. Çevrimiçi Ödeme Sistemleri ve Dijital Finans

Online ödeme sistemleri, kullanıcıların internet ortamında ürün veya hizmet karşılığında dijital araçlar aracılığıyla ödeme yapmasına imkân tanıyan finansal altyapılardır. Bu sistemler; kredi kartları, banka kartları, mobil ödeme çözümleri ve dijital cüzdanlar gibi çeşitli bileşenleri kapsamaktadır (Turban vd., 2018). Tarihsel olarak 1990'ların ortasında e-ticaretin yükselişiyle çevrimiçi ödeme sistemlerinin evrimleşme sürecinin ilk aşamada kart temelli sistemlerin yaygınlaşması, daha sonra SSL tabanlı güvenlik protokollerinin gelişmesi ve 2000'li yıllarla birlikte PayPal gibi aracılı çözümlerin ortaya çıkması, son yıllarda ise Apple Pay/Google Wallet gibi mobil cüzdanların entegrasyonu şeklinde ilerlediği belirtilmektedir (Turban vd., 2018). Günümüzde kullanılan modern online ödeme sistemleri ise e-cüzdan temelli yapılar üzerinden kimlik doğrulama ile kart/banka bilgilerini bir araya getirerek web ve mobil kanallardan gerçek zamanlı işlem yapılmasını sağlamakta ve kullanım kolaylığı, hız ve güvenlik faktörleri bu sistemlerin yaygınlaşmasının temel belirleyicileri olarak öne çıkmaktadır (Moon vd., 2022).

Çevrimiçi ödeme sistemlerinin küresel ölçekte yaygınlaşması finansal kapsayıcılık açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Nitekim gelişmekte olan ekonomilerde dijital ödeme yapan veya kabul eden yetişkin oranı 2014'te %35'ten 2021'de %57'ye yükselmiştir ve bu bulgu dijital ödeme ekosisteminin genişlemesinde teknolojik dönüşümün etkisini göstermektedir (Demirgüç-Kunt vd., 2021). Türkiye özelinde değerlendirildiğinde ise dijital ödeme sistemlerinin öneminin giderek arttığı görülmektedir. Bankalararası Kart Merkezi'nin (BKM) 2024 verilerine göre internetten kartlı ödeme adedi geçen yıla göre %14 artarak 2.665,1 milyon adede ulaşmıştır. Ayrıca internetten yapılan kartlı ödemelerin toplam kartlı ödemeler içindeki payının %15'e yükselmesi, dijital ödeme tercihinin giderek yaygınlaştığının önemli bir göstergesidir (BKM, 2024).

Küresel ölçekte ve Türkiye'de gözlemlenen bu eğilimler, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesinde kullanıcı odaklı faktörlerin belirlenmesinin hem teorik hem de uygulamaya dönük önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, bireysel ve kurumsal kullanıcıların çevrimiçi ödeme sistemlerini tercih etmesinde rol oynayan faktörlerin çok kriterli karar verme yaklaşımıyla analiz edilmesinin temel nedeni de söz konusu gereksinim ve literatürdeki karşılaştırmalı inceleme ihtiyacıdır.

1.2. Çevrimiçi Ödeme Sistemlerinin Türleri

Çevrimiçi ödeme sistemleri, dijital ortamda gerçekleştirilen finansal işlemleri mümkün kılan teknolojik altyapılardır. Çevrimiçi ödeme sistemlerinin kullanım kolaylığı, hız ve güvenlik boyutlarıyla ödeme deneyimini dönüştürdüğünü ve bu sistemlerin kart, e-ödeme, mobil cüzdan ve kripto paralar gibi farklı teknolojilerle hayata geçirildiğini göstermektedir (Khando vd., 2022). Gelişen finansal teknolojilerle birlikte bu sistemler, kullanılan araca ve hizmet sağlayıcısına göre farklı kategorilere ayrılmaktadır.

Kart Tabanlı Ödeme Sistemleri

Kredi ve banka kartları, perakende ödemelerin yerleşik ve yaygın altyapılarından biridir; özellikle temassız ödeme kartları, belirli bir eşik tutarın altında tüketicilerin "dokun-geç" yapabilmesini sağlayarak küçük tutarlı işlemlerde elektronik ödemelerin kullanım kolaylığını artırmaktadır (Brown vd.,2022). Çevrim içi kart işlemlerinde yaygın model dört taraflı kart ağıdır. Visa ve Mastercard bu dört taraflı kart ağı yapısının tipik örnekleridir (Swiss National Bank, 2009). Dört taraflı kart ağında, tüketici tarafında kart sahibi ile kartı çıkaran kart bankası, işyeri tarafında işyeri ile üye işyerinin pos bankası yer alır ve bu dört bileşen kart şeması platformu üzerinden birbirine bağlanır (Swiss National Bank, 2009). Türkiye'de ise Bankalararası Kart Merkezi (BKM) tarafından yerli kart şeması Troy geliştirilerek 2016 yılında hizmete sunulmuştur (BKM, 2016).

Dijital Cüzdanlar

Dijital cüzdanlar kart saklama, ödeme yapma ve işlem geçmişini izleme işlevlerini bilgisayar veya mobil cihaz üzerinden sağlayan yazılım tabanlı ödeme uygulamalarıdır. Ayrıca NFC, QR gibi temassız özelliklerle hızlı ve pratik işlem yapmayı sağlarlar (Ilieva vd., 2023). Küresel ölçekte yaygın kullanılan örnekler arasında PayPal, Revolut, Apple Pay ve Google Wallet bulunmaktadır ve Avrupa Merkez Bankası'nın kullanıcı odaklı değerlendirmelerinde bunlar en sık anılan dijital cüzdanlar arasındadır (European Central Bank [ECB], 2023). Türkiye'de ise bankalar ve Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) lisanslı elektronik para kuruluşları dijital cüzdan ile ön ödemeli hizmetler sunmaktadır (Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası [TCMB], 2024).

Mobil Ödeme Sistemleri

Mobil ödeme, bir mobil cihazın mal veya hizmet karşılığında finansal değerin değişimini başlatmak, yetkilendirmek ve doğrulamak için kullanıldığı elektronik ödeme işlemidir. Mobil ödeme sistemleri, akıllı telefonlar üzerinden QR kod, NFC veya uygulama entegrasyonu aracılığıyla gerçekleştirilen ödemeleri kapsamaktadır (Au ve Kauffman, 2008). Türkiye'de TCMB'nin Fonların Anlık ve Sürekli Transferi (FAST) altyapısı ve TR Karekod standardı, QR ile mobil ödemelerin 7/24 gerçek zamanlı yapılmasını mümkün kılmaktadır (TCMB, 2024).

1.3. Türkiye Perspektifi: Yerli Ödeme Sistemleri ve Dijitalleşme

Türkiye, ödeme sistemlerinde dijitalleşmeyi ve yerli çözümleri stratejik öncelik olarak konumlandırmaktadır. Türkiye'nin Ödeme Yöntemi (TROY), FAST, Kolay Adres Sistemi (KOLAS) ve TR Karekod gibi ödeme çözümleri, bireysel kullanıcılar ve işletmeler için 7/24 gerçek zamanlı bir ödeme deneyimi sunmaktadır. 2024 sonunda mağaza içi kartlı işlemlerin her 5'inden 4'ü temassız gerçekleşmiş; kartlı ödemelerde internetin payı %29'a çıkmıştır (BKM, 2025). Aynı dönemde FAST'te 4,6 milyar adet işlem ve 27,49 trilyon TL tutar gerçekleşmiş, katılımcı sayısı 42'ye ulaşmış ve KOLAS kapsamında 24,7 milyon tekil müşteri kayıtlıdır (TCMB, 2024). TROY sisteminin ölçeklenebilirliğine ilişkin göstergeler de güçlüdür. Nitekim kart sayısının 50 milyonun üzerine çıkması ve işlem hacmi pazar payının %18,3'e ulaşması bu eğilimin kanıtı niteliğindedir (BKM, 2025).

1.4. Çevrimiçi Ödeme Sistemleri ve Kullanıcı Benimsemesi

Çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesi kullanıcıların risk algısı, fayda beklentisi, güven düzeyi, teknik yeterlilik ve maliyet gibi çok boyutlu faktörlerden etkilenmektedir. Kullanıcıların güven algısı ve işlem güvenliği, ödeme teknolojilerinin benimsenmesinde en kritik unsurlar arasında görülmektedir (Kim vd., 2010). Diğer yandan, işlemlerde hız, kolaylık, erişilebilirlik gibi fayda odaklı değerlendirmeler de kullanıcı tercihlerini doğrudan etkilemektedir (Liébana-Cabanillas vd., 2015). Bununla birlikte dijital ödeme sistemleri, paydaşların kullanım deneyimleri ve dijital okuryazarlık düzeylerinden bağımsız düşünülememektedir. Kullanıcıların yeni teknolojileri benimseme eğilimlerinin algılanan fayda, kullanım kolaylığı ve sosyal normlardan önemli ölçüde etkilendiği literatürde vurgulanmıştır (Venkatesh vd., 2003).

Literatürdeki bulgular, çevrimiçi ödeme sistemlerine ilişkin kullanıcı davranışlarının tek bir faktör üzerinden açıklanamayacağını, aksine çok boyutlu bir karar problemine işaret ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışma, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörleri sistematik olarak sınıflandırmakta ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) çerçevesinde değerlendirmektedir.

1.5. AHP ve Çevrimiçi Ödeme Sistemlerinin Benimsenmesini Etkileyen Faktörler

AHP, ikili karşılaştırmalar yoluyla kriter ağırlıklarını belirleyebilmesi nedeniyle seçim problemleri ile kullanıcı tercih analizlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Saaty, 2008). Literatürde benzer yöntemlerin teknoloji seçimi, performans değerlendirmesi ve karar destek süreçlerinde etkin biçimde uygulandığı görülmektedir. Örneğin Bozdağ ve çalışma arkadaşları (2013), teknoloji öngörü yöntemlerinin seçiminde çok kriterli grup karar verme yaklaşımını kullanmış ve yöntemlerin karar verme sürecine sağladığı analitik katkılara dikkat çekmiştir. Bu bulgu, çok kriterli yöntemlerin yalnızca bireysel değerlendirmelerde değil, farklı paydaş gruplarının yer aldığı karar süreçlerinde de uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, çalışmadaki çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesine etki eden kriterlerin bireysel ve kurumsal kullanıcı perspektiflerinden analiz edilmesi amacıyla AHP yönteminin tercih edilmesi literatür ile uyumludur.

Literatürde kullanıcıların çevrimiçi ödeme sistemlerini benimsemesine yönelik çeşitli faktörlerin etkisi tartışılmaktadır. Çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesini etkileyen

faktörlere ilişkin literatür, kullanıcı davranışlarının çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan ana faktör seti ve bunlara ilişkin alt kriterler, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesine yönelik önceki ampirik ve teorik çalışmalardan hareketle oluşturulmuştur.

Algılanan fayda faktörü, kullanıcıların çevrimiçi ödeme sistemlerini kullanımının sağlayacağı yararları ifade etmektedir. Özellikle işlem kolaylığı ve ödeme sürecinin basitleştirilmesi ile hız ve işlem süresinde tasarruf sağlayan dijital ödeme sistemlerinin kullanım niyetini artırdığı tespit edilmiştir (Liébana-Cabanillas vb., 2015). Bu kapsamda, çevrimiçi ödeme sistemlerinde işlem kolaylığı ve ödeme sürecinin basitleştirilmesi ile hız ve işlem süresinde tasarruf sağlama algılanan faydanın belirleyici alt kriterleri olarak ortaya çıkmaktadır.

Kullanım kolaylığı faktörü, sistemin öğrenilebilirlik düzeyi, kullanım sürecinde bireyin harcadığı çaba ve kullanıcı arayüzünün netliği ile ilişkilidir. Literatürde çevrimiçi ödeme sistemlerinin kullanım kolaylığının benimseme sürecini güçlendirdiği ve bilişsel yükü azaltan arayüz tasarımının tercihleri olumlu etkilediği gösterilmiştir (Kim vd., 2010; Schierz vd., 2010). Sistemi öğrenme kolaylığı, süreçlerin çaba gerektirmemesi, arayüzlerin netliği ve anlaşılabilirliği bu faktörün alt kriterleri olarak değerlendirilmektedir.

Güvenlik ve algılanan risk faktörü ise kullanıcıların veri gizliliği, teknik güvenlik önlemleri ve finansal kayıplara ilişkin endişelerini kapsamaktadır. Çevrimiçi ödeme sistemlerine ilişkin algılanan güvenlik riskleri kullanıcıların benimseme niyetini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Lee, 2009; Schierz vd., 2010). Algılanan gizlilik, veri güvenliği riski ve algılanan finansal risk bu faktörün alt kriterleridir.

Sosyal etki faktörü, bireylerin ödeme sistemi kullanımına yönelik kararlarında sosyal çevrelerinin davranışsal etkilerini ifade eder. Literatürde önemli kişilerin davranışları ve sosyal normların teknoloji benimseme niyetini yönlendirdiği bulgulanmıştır (Venkatesh vd., 2003; Schierz vd., 2010). Bu nedenle çevrim içi ödeme tercihlerinde sosyal referanslar kritik role sahiptir. Önemli kişilerin etkisi ile toplumsal normlar ve sosyal beklentilerin etkisi bu faktörün alt kriterleridir.

Kolaylaştırıcı koşullar faktörü, teknik altyapı, sistem desteği ve kullanıcıya sağlanan kaynakların yeterliliğini ifade etmektedir. Kullanıcıların sistem performansına duyduğu güven ve teknik destek olanaklarının mevcudiyeti, dijital ödeme kullanım niyetini olumlu etkilemektedir (Oliveira vd., 2016; Venkatesh vd., 2003). Teknik altyapı ve kaynakların uygunluğu ile destek ve teknik yardım olanakları bu faktörün alt kriterleridir.

Algılanan maliyet faktörü, çevrimiçi ödeme sistemlerinin kullanımına ilişkin doğrudan işlem maliyetleri ile dolaylı maliyet algılarını kapsamaktadır. Ödeme sürecinde ortaya çıkan ücretlerin tercih üzerinde negatif bir etkisi bulunduğu gösterilmiştir (Yang vd., 2012; Oliveira vd., 2016). Doğrudan finansal maliyetler ve dolaylı maliyetler bu faktörün alt kriterleridir.

Algılanan güven faktörü, dijital ödeme altyapılarındaki teknik koruma önlemleri, işlem süreci güvenliği ve güvenlik politikası bildirimlerinin şeffaflığını kapsamaktadır. Kim vd. (2010), teknik ve prosedürel güvenlik unsurlarının kullanıcı güvenini artırarak benimseme niyetini olumlu etkilediğini tespit etmiştir. Teknik koruma önlemleri, işlem süreci güvenliği, güvenlik politikası bildirimleri bu faktörün alt kriterleridir.

Uyum faktörü, çevrimiçi ödeme sistemlerinin kullanıcının değerleri, ihtiyaçları ve deneyimleriyle uyum düzeyini ifade etmekte olup, bu uyum düzeyi kullanım niyetini güçlendirmektedir (Ramayanti vd., 2024; Che Nawi vd., 2022). Kullanıcı değerleri ile uyum, kullanıcı ihtiyaçları ile uyum, kullanıcı deneyimleriyle uyum bu faktörün alt kriterleridir.

Kişisel yenilikçilik ise bireyin yeni teknolojilere yönelik açıklık düzeyini ifade eder ve finansal teknolojilerin kullanım eğilimini artırdığı bulunmuştur (Shetu vd., 2022; Lu vd., 2005).

Son olarak, tutum faktörü kullanıcıların çevrimiçi ödeme sistemlerine ilişkin genel değerlendirmelerini yansıtmaktadır. Bu teknolojilerin olumlu sonuçlar sağlayacağına dair inanç ve pozitif hisler, kullanım niyetini güçlendirmektedir (Lee, 2009). Teknolojiyi kullanmanın olumlu sonuçlara sahip olduğuna inanma ve teknolojiyi kullanmanın kişide pozitif hisler uyandırması bu faktörün alt kriterleridir.

Çizelge 1. Çevrimiçi Ödeme Sistemi Tercihinde Kullanılan Araştırma Modeli Kapsamındaki Ana Karar Kriterleri ve Alt Kriterler

Ana Kriter Numarası	Ana Karar Kriterleri	Alt Kriter Numarası	Alt Kriterler
F1	Algılanan Fayda	F1.1	İşlem kolaylığı ve ödeme sürecinin basitleştirilmesi
		F1.2	Hız ve işlem süresinde tasarruf sağlama
F2	Kullanım Kolaylığı	F2.1	Sistemi öğrenme kolaylığı
		F2.2	Sistemi kullanma sürecinde çaba gerektirmeme
		F2.3	Arayüzün netliği ve süreçlerin anlaşılabilirliği
F3	Güvenlik & Algılanan Risk	F3.1	Algılanan Gizlilik
		F3.2	Veri Güvenliği Riski
		F3.3	Algılanan Finansal Risk
F4	Sosyal Etki	F4.1	Önemli kişilerin etkisi
		F4.2	Toplumsal normlar ve sosyal beklentilerin etkisi
F5	Kolaylaştırıcı Koşullar	F5.1	Teknik Altyapı ve Kaynakların Uygunluğu
		F5.2	Destek ve Teknik Yardım Olanakları
F6	Algılanan Maliyet	F6.1	Doğrudan Finansal Maliyetler
		F6.2	Dolaylı Maliyetler
F7	Algılanan Güven	F7.1	Teknik Koruma Önlemleri
		F7.2	İşlem Süreci Güvenliği
		F7.3	Güvenlik Politikası Bildirimleri
F8	Uyum	F8.1	Kullanıcı değerleri ile uyum
		F8.2	Kullanıcı ihtiyaçları ile uyum
		F8.3	Kullanıcı deneyimleriyle uyum
F9	Kişisel Yenilikçilik	-	-
F10	Tutum	F10.1	Teknolojiyi Kullanmanın Olumlu Sonuçlara Sahip Olduğuna İnanma
		F10.2	Teknolojiyi Kullanmanın Kişide Pozitif Hisler Uyandırması

Bu faktörlere ilişkin kapsamlı literatür bulguları, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesinin çok boyutlu bir karar problemi olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla,

faktörlerin göreli önemlerinin değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı uygun ve literatürle uyumludur.

2. YÖNTEM

AHP uygulamasının ilk aşamasında karar hiyerarşisi oluşturulmuştur ve araştırmanın amacı doğrultusunda modelin odağı çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesini etkileyen kriterlerin değerlendirilmesine üstüne kurulmuştur. Hiyerarşinin birinci düzeyinde algılanan fayda, kullanım kolaylığı, güvenlik ve algılanan risk, sosyal etki, kolaylaştırıcı koşullar, algılanan maliyet, algılanan güven, uyum, kişisel yenilikçilik ve tutum ana kriterleri yer almaktadır. Her bir kriter için literatür desteğiyle belirlenen alt kriterler modele dahil edilmiştir.

2.1. Araştırma Tasarımı ve Amacı

Bu çalışmada, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesini etkileyen ana ve alt kriterler, bireysel ve kurumsal kullanıcı perspektifleri dikkate alınarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile değerlendirilmiştir. AHP, çok kriterli karar verme problemlerinde kriterlerin ikili karşılaştırmalar yoluyla göreli önemlerinin belirlenmesine imkân tanıyan hiyerarşik bir yöntemdir (Saaty, 2008). Yöntemin bu yapısı, karar süreçlerinde hem nicel hem de nitel unsurların aynı anda ele alınabilmesine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesine ilişkin faktörlerin ağırlıklarının hesaplanmasında, kriterlerinin göreli önemlerinin sistematik bir biçimde değerlendirilmesini mümkün kıldığı için AHP yöntemi tercih edilmiştir. Bu çıkarım, AHP'nin karar verme süreçlerinde ikili karşılaştırmalara dayalı tutarlı bir değerlendirme yapısına sahip olduğunu vurgulayan literatürle uyumludur (Saaty, 2008).

Araştırma tasarımı hem keşfedici hem de açıklayıcı nitelik taşımaktadır. Çalışmanın temel amacı, çevrimiçi ödeme sistemlerine yönelik kullanıcı tercihlerinin çok kriterli bir karar verme çerçevesinde nicelleştirilmesi ve aynı kriter setini değerlendiren iki farklı kullanıcı grubunun önceliklendirme eğilimlerinin karşılaştırılmasıdır. Böylelikle bireysel ve kurumsal kullanıcı perspektifleri arasındaki olası farklılıkların sistematik olarak ortaya konulması hedeflenmiştir.

2.2. Örneklem

Araştırmanın örneklemini iki kullanıcı grubu oluşturmaktadır. İlk grupta, çevrimiçi ödeme sistemlerini en az bir yıldır aktif olarak kullanan bireysel kullanıcılar yer almaktadır. İkinci grup ise firmaları adına kredi kartı, QR kod veya havale/EFT gibi çevrimiçi ödeme yöntemlerinden yararlanan işletmelerde yönetici veya kıdemli olarak çalışan statüsündeki katılımcılardan oluşmaktadır. Bu örneklem yapısı, katılımcıların çevrimiçi ödeme sistemleri konusunda doğrudan deneyime sahip olmalarını sağlamak amacıyla tercih edilmiştir.

2.3. Veri Toplama Süreci

Veriler, her iki kullanıcı grubuna uyarlanmış Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ikili karşılaştırma anketleri aracılığıyla yüz yüze görüşmeler veya çevrimiçi uygulamalar yoluyla toplanmıştır. Katılımcılar, ana faktörler ile alt kriterleri ikili karşılaştırmalar şeklinde değerlendirmiştir. Bu değerlendirmelerde kriterlerin göreli önem ağırlıklarının hesaplanmasında, AHP kapsamında yaygın olarak kullanılan ve ikili karşılaştırmalara dayalı üstünlük derecelerinin

sayısallaştırılmasını sağlayan Saaty'nin 1-9 ölçeği temel alınmıştır (Saaty, 2008). Ölçekte yer alan sayısal değerler ve bunlara karşılık gelen sözel önem düzeyleri Çizelge 2'deki gibidir.

Çizelge 2. Saaty 1-9 Önem Ölçeği

Sayısal Değer	Sözel Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	Her iki kriter de eşit derecede önemlidir.
3	Zayıf/Orta Derecede Daha Önemli	Bir kriter diğerine göre hafif derecede daha önemlidir.
5	Güçlü Derecede Daha Önemli	Bir kriter diğerine göre güçlü biçimde daha önemlidir.
7	Çok Güçlü Derecede Daha Önemli	Bir kriter, deneyim ve yargı ile diğerine göre çok daha önemlidir.
9	Aşırı Derecede Daha Önemli	Bir kriter diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede üstündür.
2,4,6,8	Ara Değerler	Ana ölçek değerleri arasındaki orta değerlerdir.

Çizelge 3'te örnek bir AHP ikili karşılaştırma sorusu yer almaktadır. Buna göre katılımcılardan, iki kriteri Saaty'nin 1-9 önem ölçeğini kullanarak karşılaştırmaları istenmiştir. Katılımcılar yalnızca bir yönde değerlendirme yapmış olup karşılaştırma matrisinin ters simetrisi bu değerlere göre oluşturulmuştur.

Çizelge 3. Anket Formunda AHP İkili Karşılaştırma Soru Örneği

Faktör A	Önem Ölçeği (9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9)	Faktör B
Algılanan Fayda	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Kullanım Kolaylığı

2.4. AHP Uygulama Adımları ve Hesaplamalar

Katılımcıların ikili karşılaştırma yanıtları doğrultusunda her bir kriter ve alt kriter grubuna ilişkin karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Bireysel değerlendirmeler, çoklu karar vericilerin görüşlerini bir araya getirmede AHP literatüründe yaygın biçimde tercih edilen geometrik ortalama yöntemiyle birleştirilmiştir (Forman & Peniwati, 1998; Ossadnik vd., 2016). Böylece hem bireysel hem de kurumsal perspektif için kullanıcılardan alınan verilerle iki ayrı grup karar matrisi elde edilmiştir.

Karşılaştırma matrisleri normalize edilerek ağırlık vektörleri elde edilmiş; normalize edilmiş sütun değerlerinin satır ortalamaları ilgili kriterin öncelik ağırlığını oluşturmuştur. Ağırlık vektörü aşağıdaki temel eşitliği sağlamaktadır (Saaty, 2002):

$$A \cdot w = \lambda maks \cdot w$$

Matrislerin tutarlılığı, Saaty tarafından önerilen tutarlılık göstergeleri ile test edilmiştir. Önce tutarlılık indeksi (CI) formüle göre hesaplanmıştır (Saaty, 2002).

$$\text{Tutarlılık İndeksi (CI)} = (\lambda maks - n) / (n-1)$$

Daha sonra rassal indeks (RI) ile tutarlılık oranı (CR) hesaplanmıştır.

$$\text{Tutarlılık Oranı (CR)} = \text{Tutarlılık indexi (CI)} / \text{Rassal index (RI)}$$

Rassal index değerleri, Saaty (2002) tarafından çeşitli matris boyutları için hesaplanan referans değerlerden 1,49 olarak alınmıştır.

Tüm matrislerde tutarlılık oranı değerlerinin 0,10 eşik değerinin altında olduğu görülmüş ve karşılaştırmaların kabul edilebilir düzeyde tutarlı olduğu kabul edilmiştir (Saaty, 2002).

Alt kriterlere ilişkin yerel ağırlıklar, içinde bulundukları ana kriterlerin ağırlıklarıyla çarpılarak küresel ağırlıklara dönüştürülmüş; böylece bireysel ve kurumsal kullanıcı perspektifleri karşılaştırılabilir hale getirilmiştir. Çalışmadaki tüm hesaplamalar Microsoft Excel ortamında gerçekleştirilerek tamamlanmıştır.

Bu adımlar doğrultusunda elde edilen yerel ve küresel kriter ağırlıkları, bireysel ve kurumsal kullanıcı perspektiflerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamış; böylece çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörlerin göreli önemleri sonuçlar bölümünde ayrıntılı şekilde raporlanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, bireysel ve kurumsal kullanıcılar açısından çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesini etkileyen kriterlerin önceliklendirilmesine ilişkin AHP hesaplamalarının sonuçları sunulmaktadır. İkili karşılaştırma matrislerinden elde edilen yerel ve küresel ağırlıklar incelenmiştir. Kullanıcı grupları arasındaki önceliklendirme eğilimleri analiz edilmiştir. Bulgular, iki grup arasındaki kriter önceliklendirmesinde belirgin farklılaşmalar olduğunu göstermektedir.

3.1. Bireysel Perspektif için AHP Sonuçları

Katılımcıların ikili karşılaştırmalarına dayalı grup karar matrisi geometrik ortalama yöntemiyle oluşturulmuştur. Çizelge 5’ te bireysel kullanıcılar için karar matrisi yer almaktadır.

Çizelge 5. Bireysel Katılımcıların İkili Karşılaştırmalarına Dayalı AHP Grup Karar Matrisi (geometrik ortalama, n=10)

Ana Kriterler	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
F1	1	3,33	0,25	8,07	4,78	2,66	4,68	2,86	4,47	3,37
F2	0,30	1	0,36	3,16	1,87	0,40	0,23	0,42	3,09	2,14

F3	4,01	2,76	1	8,18	4,09	3,09	1,74	4,89	3,89	3,52
F4	0,12	0,31	0,12	1	0,27	0,29	0,12	0,17	0,25	0,30
F5	0,21	0,54	0,24	3,65	1	0,34	0,28	0,33	2,00	0,50
F6	0,37	2,51	0,32	3,44	2,88	1	0,33	0,36	2,88	2,00
F7	0,21	4,28	0,57	8,39	3,57	3,00	1	3,00	4,00	3,00
F8	0,35	2,35	0,20	5,73	3,00	2,77	0,33	1	2,88	2,88
F9	0,22	0,32	0,26	3,99	0,48	0,34	0,25	0,34	1	0,46
F10	0,30	0,47	0,28	3,18	1,74	0,50	0,33	0,34	2,17	1

Karar matrisinden türetilen öncelik ağırlıkları ve sıralamaları Çizelge 6'da sunulmuştur. Sonuçlar, bireysel kullanıcılar açısından çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesinde en yüksek öneme sahip ana kriterlerin sırasıyla güvenlik ve algılanan risk, algılanan fayda ve algılanan güven olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, bireysel kullanım kararlarında risk algısı ve güven unsurunun belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Sosyal etki, kolaylaştırıcı koşullar ve kişisel yenilikçilik ise en düşük önceliğe sahip kriterler arasında yer almıştır.

Çizelge 6. Bireysel Kullanıcılar İçin AHP Yöntemi ile Ana Kriter Ağırlıkları ve Sıralamaları

Ana Kriter Numarası	Ana Karar Kriterleri	Ağırlık	Sıralama
F1	Algılanan Fayda	0,2003	2
F2	Kullanım Kolaylığı	0,0653	6
F3	Güvenlik & Algılanan Risk	0,2425	1
F4	Sosyal Etki	0,0172	10
F5	Kolaylaştırıcı Koşullar	0,0423	8
F6	Algılanan Maliyet	0,0818	5
F7	Algılanan Güven	0,1592	3
F8	Uyum	0,1041	4
F9	Kişisel Yenilikçilik	0,0360	9
F10	Tutum	0,0513	7

Bireysel kullanıcılar için oluşturulan grup karar matrisinin tutarlılığı, özdeğer yöntemi ile hesaplanan tutarlılık göstergeleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Çizelge 7'de λmaks, tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 7. Bireysel Kullanıcılar İçin Tutarlılık Göstergeleri (λmaks, Tutarlılık İndeksi, Tutarlılık Oranı) (n=10)

λmaks	Tutarlılık İndeksi (CI)	Tutarlılık Oranı (CR)
10,9856	0,1095	0,0734

Bireysel kullanıcılar için hesaplanan karşılaştırma matrisi açısından; λmaks değerinin matris boyutu olan n değerine yani 10'a yakın olması, özdeğer yöntemine göre tutarlılığın kabul edilebilir sınırlar içinde olduğuna işaret etmektedir (Saaty, 2002). CI (tutarlılık indeksi) değerinin düşük olması, ikili karşılaştırmalar arasında belirgin bir tutarsızlık bulunmadığını göstermektedir. Bununla birlikte CR (tutarlılık oranı) değerinin 0,10 eşik değerinin altında olması, literatürde önerilen kabul düzeyiyle uyumludur (Saaty, 2002). Bu üç gösterge birlikte değerlendirildiğinde, bireysel kullanıcılar için elde edilen karar matrisinin AHP yönteminin tutarlılık koşullarını sağladığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Ana kriterlerin altında yer alan alt kriterlere ilişkin yerel ağırlıklar ve küresel ağırlıklar Çizelge 8'de sunulmaktadır. Alt kriter düzeyinde hız ve işlem süresinde tasarruf sağlama, algılanan gizlilik ve teknik koruma önlemleri en yüksek ağırlıkları alan faktörlerdir. Bu bulgu, bireysel kullanıcıların çevrimiçi ödeme sistemlerini tercih ederken günlük işlem süreçlerinde konfor, hız ve güvenlik algısına önem verdiğini işaret etmektedir. Bununla birlikte doğrudan finansal maliyetlerin de kullanıcı kararlarını etkilediği fakat öncelik düzeyinin ikincil kaldığı görülmektedir.

Çizelge 8. Bireysel Kullanıcı Perspektifinde Ana ve Alt Kriterlerin Yerel ve Küresel Ağırlıkları (n=10)

Ana Karar Kriterleri	Ağırlık	Alt Kriterler	Alt Kriterler Ağırlıklar	Küresel Ağırlıklar	Sıralama
F1	0,2003	F1.1	0,2081	0,0417	8
		F1.2	0,7919	0,1586	1
F2	0,0653	F2.1	0,2215	0,0145	19
		F2.2	0,1016	0,0066	23
		F2.3	0,6769	0,0442	7
F3	0,2425	F3.1	0,6069	0,1471	2
		F3.2	0,2673	0,0648	4
		F3.3	0,1259	0,0305	13
F4	0,0172	F4.1	0,5880	0,0101	21
		F4.2	0,4120	0,0071	22
F5	0,0423	F5.1	0,5842	0,0247	14

		F5.2	0,4158	0,0176	16
F6	0,0818	F6.1	0,7825	0,0640	5
		F6.2	0,2175	0,0178	15
F7	0,1592	F7.1	0,6630	0,1056	3
		F7.2	0,2274	0,0362	10
		F7.3	0,1096	0,0174	17
F8	0,1041	F8.1	0,1324	0,0138	20
		F8.2	0,3316	0,0345	12
		F8.3	0,5360	0,0558	6
F9	0,0360	-	-	0,0360	11
F10	0,0513	F10.1	0,2828	0,0145	18
		F10.2	0,7172	0,0368	9

3.2. Kurumsal Perspektif için AHP Sonuçları

Kurumsal kullanıcıların ikili karşılaştırmalarına ilişkin grup karar matrisi, bireysel kullanıcılarla aynı biçimde geometrik ortalama yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Çizelge 9'da kurumsal kullanıcılar için karar matrisi sunulmaktadır.

Çizelge 9. Kurumsal Kullanıcıların İkili Karşılaştırmalarına Dayalı AHP Grup Karar Matrisi (n=10)

Ana Kriterler	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**F7**	**F8**	**F9**	**F10**
F1	1	3,38	0,27	4,47	3,78	2,88	1,59	2,35	3,27	2,86
F2	0,29	1	0,25	3,00	2,08	2,08	1,13	2,00	2,70	2,55
F3	3,62	3,95	1	5,74	4,37	3,78	3,46	3,84	4,18	4,09
F4	0,22	0,33	0,17	1	0,30	0,34	0,27	0,36	0,44	0,33
F5	0,26	0,48	0,23	3,27	1	1,15	0,38	1,32	1,87	0,93
F6	0,34	0,48	0,26	2,88	0,87	1	0,42	0,80	1,81	1,41
F7	0,63	0,88	0,29	3,68	2,59	2,35	1	2,64	3,37	2,88
F8	0,42	0,50	0,26	2,77	0,76	1,25	0,38	1	1,87	1,32

F9	0,30	0,37	0,24	2,26	0,62	0,55	0,30	0,54	1	0,43
F10	0,35	0,39	0,24	3,00	1,07	0,71	0,34	0,76	2,32	1

Karar matrisinden türetilen ana kriter ağırlıkları Çizelge 10'da sunulmuştur.

Çizelge 10. Kurumsal Perspektif için AHP Kriter Ağırlıkları ve Sıralamaları

Ana Kriter Numarası	Ana Karar Kriterleri	Ağırlık	Sıralama
F1	Algılanan Fayda	0,1668	2
F2	Kullanım Kolaylığı	0,1056	4
F3	Güvenlik & Algılanan Risk	0,2829	1
F4	Sosyal Etki	0,0272	10
F5	Kolaylaştırıcı Koşullar	0,0638	6
F6	Algılanan Maliyet	0,0627	7
F7	Algılanan Güven	0,1244	3
F8	Uyum	0,0648	5
F9	Kişisel Yenilikçilik	0,0420	9
F10	Tutum	0,0598	8

Ana kriterler incelendiğinde, kurumsal kullanıcılar açısından çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesinde en yüksek ağırlığa sahip kriterin güvenlik ve algılanan risk olduğu görülmektedir. Bu bulgu, kurumsal kullanıcıların değerlendirmelerinde risk, veri güvenliği ve işlem kontrol süreçlerinin öncelikli olduğunu göstermektedir.

Kurumsal kullanıcılar için hesaplanan grup karar matrisinin tutarlılığı, bireysel kullanıcılarla aynı yöntem izlenerek değerlendirilmiştir. Tutarlılık göstergeleri Çizelge 11'de sunulmaktadır.

Çizelge 11. Kurumsal Kullanıcılar İçin Tutarlılık Göstergeleri (λmaks, Tutarlılık İndeksi, Tutarlılık Oranı) (n=10)

λmaks	Tutarlılık İndeksi (CI)	Tutarlılık Oranı (CR)
10,4416	0,0491	0,0329

λmaks değerinin matris boyutu olan n=10'a yakın olması, özdeğer yöntemine göre tutarlılığın kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir (Saaty, 2002). CI değerinin düşük olması, katılımcı değerlendirmelerinin birbirleriyle uyumlu olduğunu işaret etmektedir. CR değerinin 0,10'un altında kalması ise karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu yönündeki literatür

bulgularını desteklemektedir (Saaty, 2002). Tutarlılık hesaplamalarının uyumlu olduğu görülmüştür.

Ana kriterlerin altında yer alan alt kriterlere ilişkin yerel ve küresel ağırlıklar Çizelge 12'de sunulmaktadır.

Çizelge 12. Kurumsal Kullanıcı Perspektifinde Ana ve Alt Kriterlerin Yerel ve Küresel Ağırlıkları (n=10)

Ana Karar Kriterleri	Ağırlık	Alt Kriterler	Alt Kriterler Ağırlıklar	Küresel Ağırlıklar	Sıralama
F1	0,1668	F1.1	0,7919	0,1321	2
		F1.2	0,2081	0,0347	10
F2	0,1056	F2.1	0,1350	0,0143	18
		F2.2	0,4851	0,0512	6
		F2.3	0,3799	0,0401	9
F3	0,2829	F3.1	0,1061	0,0300	13
		F3.2	0,5779	0,1635	1
		F3.3	0,3159	0,0894	3
F4	0,0272	F4.1	0,2896	0,0079	22
		F4.2	0,7104	0,0193	17
F5	0,0638	F5.1	0,8164	0,0521	5
		F5.2	0,1836	0,0117	19
F6	0,0627	F6.1	0,4599	0,0288	14
		F6.2	0,5401	0,0339	11
F7	0,1244	F7.1	0,7101	0,0883	4
		F7.2	0,1991	0,0248	16
		F7.3	0,0908	0,0113	20
F8	0,0648	F8.1	0,1210	0,0078	23
		F8.2	0,3859	0,0250	15
		F8.3	0,4931	0,0319	12
F9	0,0420	-		0,0420	8
F10	0,0598	F10.1	0,8295	0,0496	7
		F10.2	0,1705	0,0102	21

Kurumsal kullanıcılar açısından ise güvenlik ve algılanan risk ana kriterinin göreli ağırlığı diğer kriterlere kıyasla anlamlı biçimde daha yüksek çıkmıştır. Bu doğrultuda veri güvenliği riski, algılanan finansal gibi alt kriterlerin öncelikli faktörler olarak değerlendirildiği görülmektedir. Bununla birlikte işlem kolaylığı ve ödeme sürecinin basitleştirilmesi kurumsal kullanıcılar için de yüksek önem taşıyan bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Teknik altyapı ve kaynakların

uygunluğu ise kurumsal firmaların değerlendirmelerinde özellikle dikkat çeken bir alt kriterdir; bu durum kurumsal kullanıcıların sistem entegrasyonu, operasyonel verimlilik ve güvenlik kontrolleri gibi yapısal unsurları ön planda tuttuğunu göstermektedir.

Her iki kullanıcı grubunda güvenlik, işlem verimliliği ve maliyet boyutlarının öne çıktığı görülmekle birlikte, bu faktörlerin önceliklendirilme gerekçeleri farklılaşmaktadır. Bireysel kullanıcılar çevrimiçi ödeme sistemlerini değerlendirirken işlem güvenliği, kullanım kolaylığı ve kişisel faydayı dikkate almakta; buna karşılık kurumsal kullanıcılar veri güvenliği, finansal risk ve operasyonel bütünlüğü önceliklendirmektedir. Bu durum, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesine yönelik geliştirme, tasarım ve yaygınlaştırma stratejilerinde kullanıcı segmentasyonunun dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu araştırmada çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörler, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak bireysel ve kurumsal kullanıcı perspektiflerinden değerlendirilmiştir. Bulgular, güvenlik ve risk boyutlarının her iki kullanıcı grubunda da öncelikli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, çevrimiçi ödeme sistemlerinde güven algısının kullanıcı deneyiminin merkezinde yer aldığına dair literatür bulgularıyla uyumludur (Venkatesh vd., 2003; Kim vd., 2010).

Araştırma modelindeki ana ve alt kriterlerin göreli önem sıralamaları kullanıcı türüne göre farklılaşmıştır. Bireysel kullanıcıların öncelikleri ağırlıklı olarak işlem sürecinin hızına, kullanım kolaylığına ve sistemin güvenilirliğine yönelirken; kurumsal kullanıcıların değerlendirmeleri operasyonel güvenlik, veri koruma ve finansal risk boyutlarında yoğunlaşmıştır. Bu bulgular, kurumsal kullanıcıların karar verme süreçlerinde risk yönetimi ve güvenlik kontrol mekanizmalarının belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

Araştırmanın teorik katkısı, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesine ilişkin değerlendirmelerin yalnızca bireysel düzlemde değil, örgütsel bağlamda da sistematik biçimde incelenebileceğini göstermesidir. Böylece karar verme sürecinin yalnızca bireysel kullanım davranışlarıyla açıklanamayacağı, kurumsal aktörlerin farklı öncelik setlerine sahip olduğu ortaya konmaktadır.

Pratik açıdan bakıldığında, elde edilen bulgular; finansal kuruluşların, dijital bankacılık sağlayıcılarının ve ödeme hizmeti sunan firmaların dijital ödeme ürünlerinde kullanıcı segmentasyonuna yönelik stratejiler geliştirmelerinin kritik bir gereklilik olduğunu göstermektedir. Bireysel kullanıcılar için kullanıcı dostu arayüzler, hızlı işlem süreçleri ve düşük maliyet unsurlarının güçlendirilmesi gerekliyken; kurumsal firmaların ihtiyaçlarını karşılamak için veri güvenliği altyapılarının güçlendirilmesi, finansal risk yönetimi prosedürlerinin düzenlenmesi, entegrasyon süreçlerinin kolaylaştırılması ve teknik destek kapasitesinin artırılması gerekmektedir.

Araştırmanın sınırlılıkları, sonuçların yorumlanmasında dikkate alınmalıdır. Örneklem büyüklüğünün sınırlı oluşu bulguların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Gelecek çalışmalarda farklı karar verme yöntemlerinin uygulanması, farklı sektör veya ülke karşılaştırmalarının yapılması önerilmektedir.

Genel değerlendirme olarak, çevrimiçi ödeme sistemlerinin benimsenmesi çok boyutlu bir karar verme problemidir ve kullanıcı ihtiyaçları hem güvenlik hem de kullanım deneyimi bağlamında çeşitlilik göstermektedir. Bu doğrultuda, ödeme sistemlerinin tasarımı, mevzuat uyumu, güvenlik protokolleri ve kullanıcı deneyiminin geliştirilmesi süreçlerinde kullanıcı türüne göre farklılaştırılmış stratejik yaklaşımların benimsenmesi gerekmektedir. Kullanıcı odaklı segmentasyon stratejilerinin uygulanması, hem kullanım oranlarının artırılmasına hem de dijital ödeme ekosisteminin sürdürülebilir gelişimine katkı sunacaktır.

KAYNAKÇA

1. Au, Y. A., ve Kauffman, R. J.**,** The Economics of Mobile Payments: Understanding Stakeholder Issues for an Emerging Financial Technology Application, *Electronic Commerce Research and Applications*, 7(2), 141–164, 2008.

2. Bankalararası Kart Merkezi**,** Nisan 2016 Basın Bülteni, İstanbul, 2016.

3. Bankalararası Kart Merkezi**,** BKM 2024 Yıllık Bülten, İstanbul, 2025.

4. Bankalararası Kart Merkezi**,** TROY 2024 Basın Bülteni, 28 Ocak, İstanbul, 2025.

5. Brown, M., Hentschel, N., Mettler, H., ve Stix, H.**,** The Convenience of Electronic Payments and Consumer Cash Demand, *Journal of Monetary Economics*, 130, 86–102, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2022.06.001

6. Che Nawi, N., Mamun, A. A., Hayat, N., ve Seduram, L., Promoting Sustainable Financial Services Through the Adoption of eWallet Among Malaysian Working Adults, Sage Open, 12(1), 21582440211071107, 2022.

7. Demirgüç-Kunt, A., Klapper, L., Singer, D., ve Ansar, S.**,** Financial Inclusion, Digital Payments, and Resilience in the Age of COVID-19, World Bank Report, Washington DC, 2021.

8. European Central Bank**,** Study on Digital Wallet Features [Annex], 24 April, Frankfurt, 2023. https://www.ecb.europa.eu/press/pr/date/2023/html/ecb.pr230424_1_annex~93abdb80da.en.pdf

9. Forman, E., ve Peniwati, K.**,** Aggregating Individual Judgments and Priorities with the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165–169, 1998.

10. Ilieva, G., Yankova, T., Dzhabarova, Y., Ruseva, M., Angelov, D., ve Klisarova-Belcheva, S.**,** Customer Attitude Toward Digital Wallet Services, *Systems*, 11(4), 185, 2023. https://doi.org/10.3390/systems11040185

11. Intepe, G., Bozdağ, E., ve Koç, T.**,** The Selection of Technology Forecasting Method Using a Multi-Criteria Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making Approach, *Computers & Industrial Engineering*, 65(2), 277-285, 2013.

12. Khando, K., Islam, M. S., ve Gao, S.**,** The Emerging Technologies of Digital Payments and Associated Challenges: A Systematic Literature Review, *Future Internet*, 15(1), 21, 2022.

13. Kim, C., Tao, W., Shin, N., ve Kim, K. S.**,** An Empirical Study of Customers' Perceptions of Security and Trust in E-Payment Systems, *Electronic Commerce Research and Applications*, 9(1), 84-95, 2010.

14. Lee, M. C., Factors Influencing the Adoption of Internet Banking: An Integration of TAM and TPB With Perceived Risk and Perceived Benefit, Electronic Commerce Research and Applications, 8(3), 130-141, 2009.

15. Liébana-Cabanillas, F., Ramos de Luna, I., ve Montoro-Ríos, F. J.**,** User Behaviour in QR Mobile Payment System: The QR Payment Acceptance Model, *Technology Analysis & Strategic Management*, 27(9), 1031-1049, 2015.

16. Lu, J., Yao, J. E., ve Yu, C. S., Personal Innovativeness, Social Influences and Adoption of Wireless Internet Services via Mobile Technology, The Journal of Strategic Information Systems, 14(3), 245-268, 2005.

17. Moon, I. T., Shamsuzzaman, M., Mridha, M. M. R., ve Rahaman, A. S. M. M.**,** Towards the Advancement of Cashless Transaction: A Security Analysis of Electronic Payment Systems, *Journal of Computer and Communications*, 10, 103–129, 2022.

18. Oliveira, T., Thomas, M., Baptista, G., ve Campos, F., Mobile Payment: Understanding the Determinants of Customer Adoption and Intention to Recommend the Technology, Computers in Human Behavior, 61, 404-414, 2016.

19. Ossadnik, W., Schinke, S., ve Kaspar, R. H.**,** Group Aggregation Techniques for Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: A Comparative Analysis, *Group Decision and Negotiation*, 25(2), 421-457, 2016.

20. Ramayanti, R., Rachmawati, N. A., Azhar, Z., ve Azman, N. H. N., Exploring Intention and Actual Use in Digital Payments: A Systematic Review and Roadmap for Future Research, Computers in Human Behavior Reports, 13, 100348, 2024.

21. Saaty, T. L., Decision Making With the Analytic Hierarchy Process, International Journal of Services Sciences, 1(1), 83-98, 2008.

22. Saaty, T. L., Decision Making With the Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburgh, 2002.

23. Schierz, P. G., Schilke, O., ve Wirtz, B. W., Understanding Consumer Acceptance of Mobile Payment Services: An Empirical Analysis, Electronic Commerce Research and Applications, 9(3), 209-216, 2010.

24. Shetu, S. N., Islam, M. M., ve Promi, S. I., An Empirical Investigation of the Continued Usage Intention of Digital Wallets: The Moderating Role of Perceived Technological Innovativeness, Future Business Journal, 8(1), 43, 2022.

25. Swiss National Bank**,** An Examination of the Economics of Payment Card Systems, Basel, 2009.

26. TCMB – Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası**,** Elektronik Para Kuruluşları, https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+menu/temel+faaliyetler/odeme+hizmetleri/elektronik+para+kuruluslari (Erişim tarihi: 26.08.2025).

27. TCMB – Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası**,** FAST – TR Karekod Teknik İlke ve Kuralları Rehberi, 13 Mayıs, Ankara, 2024. https://www.tcmb.gov.tr

28. TCMB – Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası**,** TCMB Faaliyet Raporu 2024, Finansal Altyapı–FAST Bölümü, Ankara, 2024. https://www3.tcmb.gov.tr/yillikrapor/2024/pdf/TCMB-Faaliyet-Raporu-2024.pdf

29. Turban, E., Outland, J., King, D., Lee, J. K., Liang, T. P., ve Turban, D. C.**, Electronic** Commerce 2018: A Managerial and Social Networks Perspective, Springer, Switzerland, 2018.

30. Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., ve Davis, F. D.**,** User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View, *MIS Quarterly*, 425-478, 2003.

31. Yang, S., Lu, Y., Gupta, S., Cao, Y., ve Zhang, R., Mobile Payment Services Adoption Across Time: An Empirical Study of the Effects of Behavioral Beliefs, Social Influences, and Personal Traits, Computers in Human Behavior, 28(1), 129-142, 2012.

GÜRÜLTÜLÜ VERİ SETLERİ İÇİN AKTİF ÖĞRENME İLE VERİ TEMİZLEME VE YARI OTOMATİK ETİKETLEME

Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL

Karadeniz Teknik Üniversitesi,

bingolo@ktu.edu.tr - 0000-0001-6251-6537

ÖZET

Derin öğrenme algoritmalarının görsel sınıflandırma, doğal dil işleme ve otonom sistemlerdeki başarısı, büyük ölçüde yüksek kaliteli, doğru etiketlenmiş ve geniş kapsamlı eğitim verilerinin varlığına dayanmaktadır. Ancak, günümüzün veri odaklı yapay zeka paradigmasında, verinin toplanması ve özellikle etiketlenmesi süreci, model mimarilerinin geliştirilmesinden çok daha maliyetli ve zahmetli bir darboğaz haline gelmiştir. Bu maliyeti düşürmek amacıyla geliştirilen Aktif Öğrenme stratejileri, etiketlenmemiş geniş bir havuzdan modelin öğrenme sürecine en fazla katkıyı sağlayacak örnekleri seçmeyi hedefler. Ne var ki, geleneksel Aktif Öğrenme yaklaşımları, etiketleyici mekanizmanın hatasız olduğu varsayımına dayanır. Oysa gerçek dünya verileri, kaçınılmaz olarak gürültülü etiketler barındırmaktadır. Gürültülü veri ile çalışmak çoğu zaman modellerin performansının çökmesine neden olan bir geri besleme döngüsü oluşturur. Bu çalışma, söz konusu problemi çözmek amacıyla AUDF isimli bir Aktif Öğrenme tabanlı bir yaklaşım sunmaktadır. AUDF, eğitim sürecinin dinamiklerine göre uyarlanan zaman-bağımlı bir parametre aracılığıyla, belirsizlik ve çeşitlilik kriterleri arasındaki ödünleşimi optimize etmektedir. CIFAR-10N ve CIFAR-100N gibi insan kaynaklı gerçek dünya gürültü veri setleri üzerinde yapılan kapsamlı deneyler, önerilen yöntemin özellikle yüksek gürültü oranlarında mevcut son teknoloji yöntemlere kıyasla test doğruluğunu %3-%5 oranında artırdığını ve etiket temizleme hassasiyetini maksimize ettiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Aktif öğrenme, CIFAR-10N/100N, Gürültülü veri, Otomatik veri etiketleme.

DATA CLEANING AND SEMI-AUTOMATED LABELING WITH ACTIVE LEARNING FOR NOISY DATASETS

Asst. Prof. Dr. Özkan BİNGÖL

Karadeniz Technical University,

bingolo@ktu.edu.tr - 0000-0001-6251-6537

ABSTRACT

The success of deep learning algorithms in visual classification, natural language processing, and autonomous systems largely depends on the availability of high-quality, accurately labeled, and comprehensive training datasets. However, in the current data-driven AI paradigm, the process of collecting and especially labeling data has become a much more costly and laborious bottleneck than the development of model architectures. Active Learning strategies, developed to reduce this cost, aim to select examples from a large pool of unlabeled data that will contribute most to the model's learning process. However, traditional Active Learning approaches are based on the assumption that the labeling mechanism is error-free. However, real-world data inevitably contain noisy labels. Working with noisy data often creates a feedback loop that causes the model performance to collapse. This study presents an Active Learning-based approach called AUDF to solve this problem. The AUDF optimizes the trade-off between uncertainty and diversity criteria using a time-dependent parameter adapted to the dynamics of the training process. Extensive experiments on human-generated real-world noise datasets, such as CIFAR-10N and CIFAR-100N, demonstrate that the proposed method increases the test accuracy by 3-5% and maximizes tag cleaning sensitivity, especially at high noise levels, compared with existing state-of-the-art methods.

Keywords: Active learning, CIFAR-10N/100N, Noisy data, Automated data labeling.

1. INTRODUCTION

The progress in artificial intelligence and computer vision over the past decade has gained momentum owing to the convergence of three key factors [1]: the increase in GPU-based computational power, innovations in deep neural network architectures, and the accessibility of massive labeled datasets such as ImageNet. Under the supervised learning paradigm, it is generally accepted that there is a logarithmic relationship between model performance and the amount of labeled data. However, modern deep learning models often require more data. This leads to unsustainable costs in terms of time and finances.

Active Learning (AL) has emerged as a solution to this problem. Its basic premise is that if a learning algorithm can choose which data to learn from, it can achieve higher performance with less data compared with random selection [2,3]. In a standard AL loop, the model identifies the most valuable examples from the unlabeled pool based on its current parameters (Query Strategy). These examples are then labeled by human experts and added to the training set, updating the model [4]. This cycle continues until the budget is exhausted, or the targeted performance is reached.

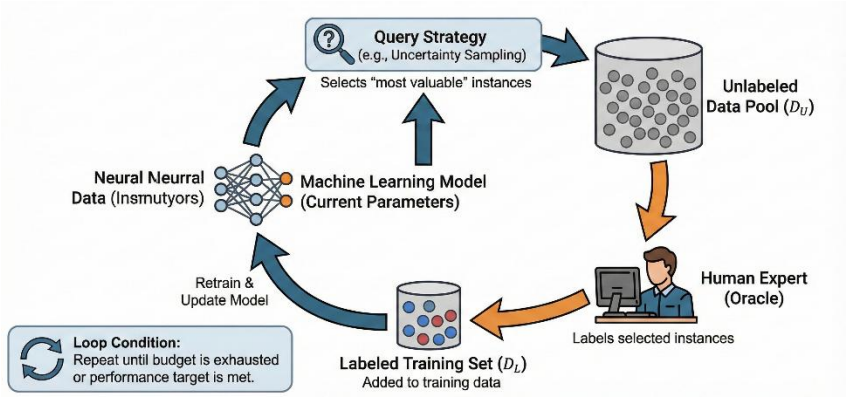


Figure 1. The standart active learning cycle[1]

Traditional approaches are generally based on uncertainty sampling; that is, the examples that the model struggles to predict are selected [5]. However, this idealized loop assumes that experts are always correct. However, the obtained labels are often noisy. Analyses conducted on the CIFAR-10N and CIFAR-100N datasets presented by Wei et al. (2021) showed that human annotators' error rates can reach up to 40%, and these errors are not random (symmetric noise) but depend on the content of the data (instance-dependent noise) [6]. For example, when an image of a cat is consistently labeled as a dog owing to low resolution or occlusion, it creates an impossible contradiction for the model to resolve.

Uncertainty-based methods seek examples where the model is close to the decision boundary or where the prediction distribution (entropy) is high [7]. In a noisy environment, the highest uncertainty is usually found in mislabeled or structurally corrupted samples. Therefore, the AL algorithm begins selecting noisy samples instead of informative ones. This leads to an increasing amount of contamination in the training set and causes the model to overfit the noise. In the literature, this situation is referred to as the Active Learning Failure Mode [8,9].

[1]The visuals used in the study were created for Nano Banan Pro using custom prompts via Google Gemini 3. The visuals are fully consistent with the study and accurately reflect the relevant content.

In this study, we propose an Active Learning Uncertainty Diversity Fusion (AUDF) algorithm to address the aforementioned problem. The type of information required by the model changes at different stages of the training process. At the beginning of training, the model has not yet learned the general structure of the data space, and its parameters are unreliable. At this stage, the uncertainty sampling is highly sensitive to noise. Therefore, in the initial phase, a diversity-focused selection that covers the geometric distribution of the data should be applied is required. As the model matures and its representations become stronger, it is possible to switch to an uncertainty-based selection to fine-tune the decision boundaries. However, this transition should be supported by a filtering mechanism that prevents the infiltration of label noise.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 examines the literature on active learning and learning with noisy labels in detail and identifies existing gaps. In Section 3, the datasets used, mathematical foundations of the AUDF algorithm, optimization objectives, and implementation details are presented. Section 4 describes the experimental studies, Section 5 discusses the findings, and Section 6 provides a summary of the conclusions.

2. RELATED WORK

This study is situated at the intersection of two well-established subfields of machine learning: Active Learning (AL) and Learning with Noisy Labels (LNL).

2.1. Deep Active Learning

Active learning strategies can be examined in three main categories according to the criteria for selecting the most suitable samples from the unlabeled data pool (D_U): uncertainty-based, diversity-based, and hybrid methods. Uncertainty-based methods target samples for which the model currently has the least information [7]. These methods are computationally inexpensive and effective for determining decision boundaries. However, noisy samples create artificially high entropy and mislead the algorithm.

Diversity-based methods aim to ensure that the selected samples best geometrically represent the data space. The goal is to fill the gaps in the data distribution and prevent redundancy in the training set [3, 10]. The Core-Set method proposed by Sener and Savarese (2017) formulates active learning as a k-center clustering problem [11]. The aim was to minimize the maximum distance from each point in the unlabeled pool to a point in the selected labeled set. This method is more robust to noise because it focuses on the positions of points in space rather than the uncertainty of individual examples. However, in high-dimensional spaces, distance metrics may lose their meaning (curse of dimensionality), and there is a risk of outliers being selected as the centers.

Recently, hybrid methods that combine uncertainty and diversity have become popular. Ash et al. (2019) proposed a method called BADGE, which selects examples based on the gradient magnitude in the last layer (uncertainty) and diversity in the gradient space (using k-means++) [12]. Although BADGE is considered a state-of-the-art method, it does not offer a specific protection mechanism for the effect of noisy labels on gradients.

2.2. Learning with Noisy Labels (LNL)

Methods developed to cope with label noise are based on either cleaning the data or increasing the model tolerance to noise. For example, the Small-Loss Hypothesis proposes that deep neural networks (DNNs) learn simple and clean patterns before memorizing complex patterns (noise) in the data [13]. In other words, during the early stages of training, the loss for clean samples is lower than that for noisy samples. In their approach, called Co-teaching, Han et al. (2018) trained two separate networks in parallel [14]. Each network selects low-loss samples within a mini-batch and teaches them to the other network. This prevents a single network from reinforcing its mistakes (confirmation bias). In their method called DivideMix, Li et al. (2020) modeled the probability that samples are clean using Gaussian Mixture Models (GMM) and separated those with high probability as clean and those with low probability as unlabeled [15]. Then, they extracted information from noisy data using semi-supervised learning techniques such as MixMatch. DivideMix is currently one of the strongest baseline methods in the LNL literature.

Most LNL studies have been tested on synthetic noise, where labels are randomly changed (symmetric flip). However, Wei et al. (2021) demonstrated using the CIFAR-10N and CIFAR-100N datasets that real human noise is instance-dependent and far more challenging than synthetic noise [6]. For example, in the "Worst" scenario of CIFAR-10N, there is a noise rate of 40%, and this noise is concentrated in the classes in which annotators made the most mistakes.

2.3. Active Learning and Noisy Labels

The intersection of these two fields has surprisingly been understudied. While standard AL assumes that experts are error-free, standard LNL assumes that all data are provided from the start. Shafir et al. (2025) proposed Noise-Aware Active Sampling (NAS), which involves resampling from noisy regions [16]. Similarly, Yuan et al. (2024) introduced a "NoiseAL" framework that corrects noisy labels with the help of Large Language Models (LLMs) [17]. However, these methods typically rely on additional models or complex co-training structures that require substantial computational power to function.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Datasets: CIFAR-10N and CIFAR-100N

To measure the effectiveness of the proposed method and determine its place in the literature, benchmark sets containing real human errors instead of synthetic noise were used. These datasets, presented by Wei et al. (2021), were created by relabeling standard CIFAR-10/100 images using Amazon Mechanical Turk [6]. In this study, worst-case scenarios were selected to push the limits of the algorithm. Some statistical properties of the datasets used in this study are presented in Table 1. Examples of real and fake labels for some images are shown in Figure 2.

The CIFAR-10N Worst set, owing to its noise rate of 40.21% and the instance-dependent nature of the noise, makes it extremely difficult for the model to distinguish clean samples [11].

Table 1: Statistical Characteristics of the Datasets Used

Dataset	Noise Type	Noise Ratio	Description	Difficulty Level
CIFAR-10N	Aggregate	%9.03	Majority vote of 3 labelers.	Low
CIFAR-10N	Random 1	%17.23	Raw data from the single tagger.	Medium
CIFAR-10N	Worst	%40.21	If any of the three labelers is wrong, the incorrect label is chosen.	Very High
CIFAR-100N	Noisy Fine	%40.20	Unique human label for class 100.	Very High

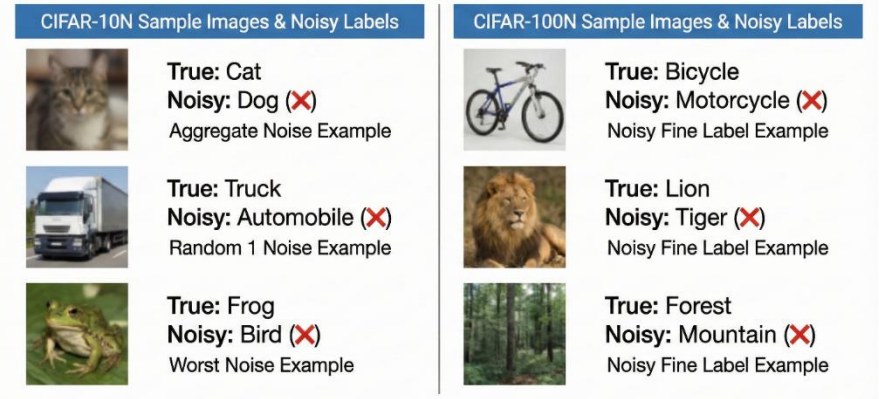


Figure 2. Sample images and real-world human noisy labels from CIFAR-10N and CIFAR-100N Datasets

3.2. Proposed AUDF Method

In this section, the technical details, mathematical formulations, and implementation steps of the Active Learning Uncertainty Diversity Fusion (AUDF) algorithm, which increases the labeling efficiency and provides robustness against noise in noisy datasets, are presented. The general stages of the AUDF method are shown in Figure 3.

Let us consider a K-class classification problem. Let X be the data space and $Y = \{1, \dots, K\}$ be the label space. Let $D_L = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^{N_L}$ represent the labeled dataset, $D_U = \{x_j\}_{j=1}^{N_U}$ represent the unlabeled dataset, f_θ be the Deep Neural Network (DNN) parameterized by the θ parameters, and B be the number of samples to be labeled in each active learning cycle. Unlike standard AI, the expert-provided label ỹ may not always match the actual label, y*. The noise process is defined by a sample-dependent probability:$P(\tilde{y} = k|x, y^* = c) = \eta_{ck}(x)$. Our goal is to maximize the generalization performance of the f_θ model trained using noisy labels ỹ on a clean test set.

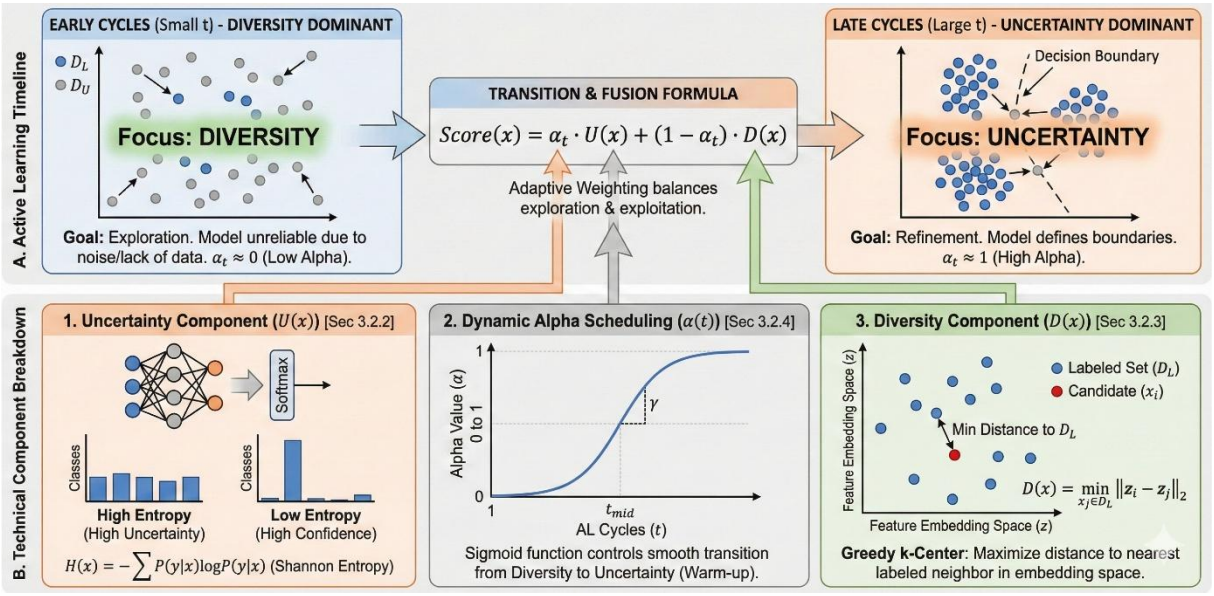


Figure 3. The proposed AUDF Method: Dynamic Uncertainty – Diversity Fusion Strategy

The core of the proposed AUDF algorithm is the dynamic integration of uncertainty and diversity metrics (U_D). Traditional methods often use static weights ($S = \lambda U + (1 - \lambda)D$). However, this approach is inadequate in noisy environments. In the early stages, the model parameters are nearly random, and due to noise, the risk of overfitting is high. At this stage, the uncertainty scores were unreliable. Therefore, Diversity should be prioritized to cover the data space broadly. In the later stages, as the model learns the general structure of the data, it requires examples from the boundary regions to clarify the decision boundaries. At this point, uncertainty becomes more valuable [14].

The AUDF defines the following composite score function for each candidate $x \in D_U$ sample:

$$S_{AUDF}(x; \theta_t) = \alpha(t)\Phi_{unc}(x; \theta_t) + \big(1 - \alpha(t)\big)\Phi_{div}(x; D_L)$$

Here, Φ_{unc} represents the uncertainty score, Φ_{div} the diversity score, and α(t) the adaptive weighting coefficient in the t-th cycle. Uncertainty was measured as the entropy of the predicted probability distribution of the model. Shannon Entropy is one of the metrics that best represents the model's indecision among classes [6]:

$$\Phi_{unc}(x) = \mathcal{H}\big(P(\cdot\,|x; \theta)\big) = -\sum_{k=1}^{K} P(\hat{y} = k|x; \theta) \log P\,(\hat{y} = k|x; \theta)$$

where, $P(\hat{y} = k|x; \theta)$ is the softmax probability that the model assigns to the k-th class for the input x. Diversity is inversely proportional to the distance of the candidate from the currently labeled set D_L. By simplifying the core-set [7] approach, we use the greedy k-center strategy, which maximizes the Euclidean distance of each candidate to its nearest neighbor in the D_L. The feature vectors z(x) are the embeddings that immediately precede the last fully connected layer of the network.

$$\Phi_{div}(x) = \min_{x_j \in D_L} \big|z(x) - z\big(x_j\big)\big|_2$$

This score highlights samples in the most sparsely populated regions of space that are not yet covered by labeled data. The α(t) function is designed to be close to 0 (variety dominant) at the beginning of the training and close to 1 (uncertainty dominant) at the end. A sigmoid-based function is used to ensure a smooth transition:

$$\alpha(t) = \frac{1}{1 + e^{-\gamma \cdot (t - T_{mid})}}$$

Here, t represents the current AL cycle number (e.g., from 1 to 10), T_mid represents the midpoint of the transition (half of the total number of cycles, e.g., $T_{max} \geq 2$), and γ represents the hyperparameter (slope) that determines the transition sharpness. A high value of γ indicates a sudden change in strategy. This formulation, similar to a warm-up period, allows the model to first establish a robust initialization with safe and varied examples and then move on to more challenging examples.

3.3. Noise Filtering and Data Cleaning Module (Automated Cleaning)

The most critical component of the AUDF is the cleaning mechanism, which comes into play after the selected samples are labeled. Merely making a selection is insufficient; noisy labels must be prevented from entering the training pool. For this purpose, we used a GMM filter based on the small-loss theory. The stages of this module are illustrated in Figure 4.

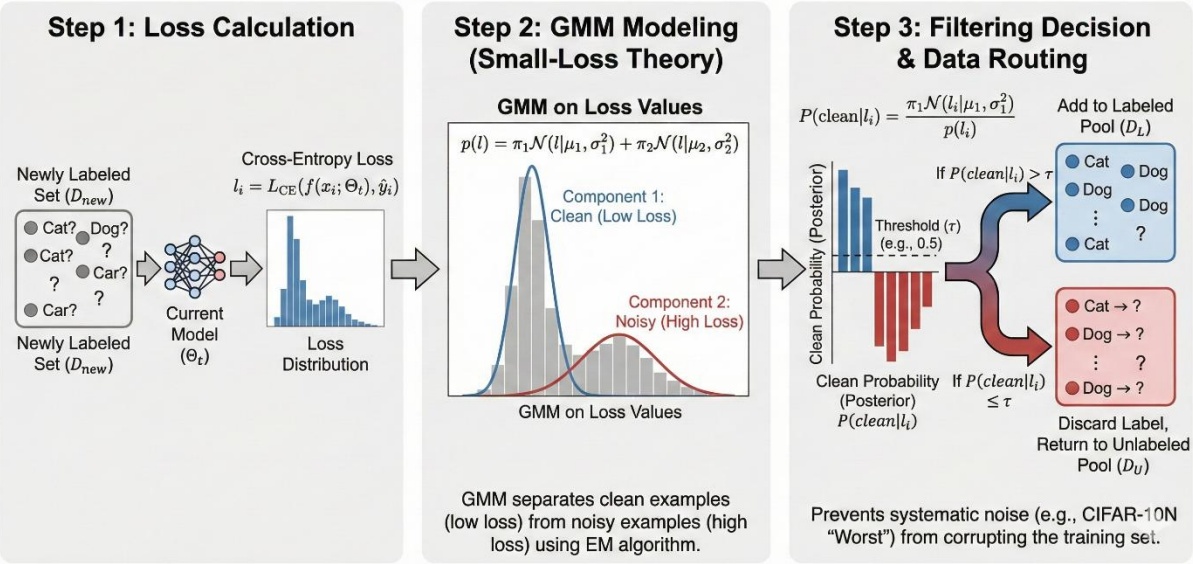


Figure 4. Automated GMM-Based Noise Cleaning Module

The operational steps are as follows:

1. The model f_{θ_t} is trained on the current data D_L. Then, for each $(x, \tilde{y})$ example in the newly labeled set Q_t, the loss value is calculated:
$$l_i = \mathcal{L}_{CE}\left(f_{\theta_t}(x_i), \tilde{y_i}\right)$$
Here, $\mathcal{L}_{CE}$ is the Cross-Entropy loss.
2. The distribution of the loss values was modeled using a two-component GMM. The low-loss component represents clean samples, and the high-loss component represents noisy samples.

$$p(\mathrm{l}) = \sum_{m=1}^{2} w_m \mathcal{N}(\mathrm{l}|\mu_m, \sigma_m^2)$$

Here, the first component is a clean distribution such that $\mu_1 < \mu_2$. The parameters w, μ, and σ are optimized using the Expectation Maximization (EM) algorithm.

3. The posterior probability of each sample being clean is calculated as follows:

$$P(\mathrm{Clean}|\mathrm{l}_i) = \frac{w_1 \mathcal{N}(\mathrm{l}_i|\mu_1, \sigma_1^2)}{p(\mathrm{l}_i)}$$

The data were parsed using a threshold value τ (e.g., 0.5):

- If $P(\mathrm{Clean}|\mathrm{l}_i) > \tau$, the sample was added to D_L.
- If $P(\mathrm{Clean}|\mathrm{l}_i) \leq \tau$, the label is removed, sample xi is sent back to the DU pool, or used without a label for semi-supervised learning.

This mechanism prevents systematic noise from infiltrating the model, especially in scenarios like CIFAR-10N "Worst." This is because systematic errors produce high losses, as they contradict the general distribution that the model has learned.

4. EXPERIMENTAL STUDIES

In this section, the test accuracy, label-correction performance, and noise-robustness metrics of the AUDF are presented.

4.1. CIFAR-10N (Worst) Performance

The CIFAR-10N "Worst" scenario is the situation that most hinders the model's learning. Table 2 shows the test accuracies at the end of the 5th and 10th AL cycles. As expected in this study, the standard entropy method performed even worse than the Random (%59.80 vs %62.15). This proves that noisy samples produce high entropy and "fool" the algorithm, causing the model to overfit the noisy data. AUDF even outperformed complex semi-supervised learning methods, such as DivideMix (%81.20). This is because AUDF not only cleans the data but also intelligently determines which data to clean (active selection). The initial diversity-focused selection enabled the model to learn the general distribution without getting stuck in noisy clusters, which laid the groundwork for the GMM filter to function more accurately.

Table 2: CIFAR-10N (Worst) Test Accuracy Comparison (%)

Method	**%10 Data (Epoch 5)**	**%20 Data (Epoch 10)**	**Description**
Random (CE)	58.42 ± 1.2	62.15 ± 0.9	Baseline
Entropy	55.30 ± 1.5	59.80 ± 1.1	Failure Mode
Core-Set	63.10 ± 0.8	68.45 ± 0.7	Diversity helped avoid noise
BADGE	65.22 ± 0.9	71.30 ± 0.6	Hybrid structure provided an advantage
DivideMix (AL)	72.10 ± 0.5	78.40 ± 0.4	Strong LNL method
AUDF (Ours)	**74.85 ± 0.4**	**81.20 ± 0.3**	

4.2. CIFAR-100N (Noisy Fine) Performance

This dataset, which contains more classes and fewer examples, tests the ability of algorithms to make fine-grained distinctions. The success of AUDF in CIFAR-100N (73.45%) is particularly evident in learning rare (minority/hard) classes. Filtering noisy labels ensured that the small number of examples per class remained "clean" and allowed for accurate modeling of intra-class variance.

Table 3: CIFAR-100N Test Accuracy[1]

Method	Best Accuracy (%)	Last Accuracy (%)
Cross-Entropy	43.91	42.50
Co-teaching+	59.32	58.10
DivideMix	71.13	70.80
AUDF	**73.45**	**72.90**

4.3. Label Correction Analysis

To measure the effectiveness of the AUDF data-cleaning module, the precision (the rate at which samples marked as "clean" by the GMM filter match their true labels) and recall (the rate at which noisy samples are caught) were examined. Table 4 emphasizes the importance of dynamic structures. In the initial iterations, the filtering performance was low (82.4%) because the model was weak. However, at this stage, the AUDF focuses on diversity-based selection, minimizing the risk of the model being trained with incorrect data (highly noisy, low-precision). As the iterations progressed, the model became stronger, and the GMM differentiated more effectively. In the 10th iteration, a very high precision of 94.8% was obtained.

Table 4: AUDF Data Cleaning Module Performance (CIFAR-10N Worst)

Metric	Epoch 1 (Erken)	Epoch 5 (Orta)	Epoch 10 (Geç)
Clean Selection Precision	%82.4	%91.5	%94.8
Noise Recall	%65.0	%84.2	%89.1

5. DISCUSSION

Studies in the literature argue that with a small sample size, representative examples are more valuable, whereas with a large sample size, uncertain examples are considered more valuable [14]. The AUDF successfully transferred this theoretical finding to the context of noisy data. In noisy data, initially using uncertainty is suicidal because the model's uncertainty arises not from a lack of information but from conflicting labels. As the model learns the data space (diversification phase), it gains the ability to distinguish conflicting labels, and at this point, uncertainty-based selection becomes safe.

[1] Baseline values have been compiled from source [18] and reproduced under the same experimental protocol.

The data clarify the impact of noise type (symmetric versus asymmetric) on the AL strategy. While diversity strategies such as the core set may be partially sufficient with symmetric noise, they can also fail in cases of asymmetric/systematic noise, such as CIFAR-10N Worst (for example, when "cat" is consistently labeled as "dog") because, in the feature space, these classes become intertwined. This is where the GMM module of AUDF comes into play; it identifies points in the feature space (embedding space) that are close to each other but have different labels (as they are likely to produce a high loss) and filters them.

The main limitation of the AUDF is that it requires GMM training and inference on the entire pool in each AL cycle. This can increase the computational cost of large datasets (such as ImageNet). In future work, an end-to-end structure will be targeted, where the parameter is learned specifically for the data and model state by a Deep Reinforcement Learning agent instead of using a predefined function. Additionally, more lightweight noise-detection methods will be explored as alternatives to GMM.

6. RESULTS

This study introduced the AUDF algorithm to improve the performance of deep learning models on noisy datasets and optimize the labeling costs. Extensive experiments conducted on the CIFAR-N datasets, which contain real-world noise, demonstrated the effectiveness of the proposed method.

1. That it achieves perfect alignment with the phases of the learning process (Explore/Exploit) through dynamic weighting,
2. By integrating data cleansing, it achieves up to 95% label accuracy by minimizing the disruptive effects of noisy labels,
3. It has been shown to provide a 3%-5% increase in accuracy compared with current SOTA methods.

The AUDF addresses a significant gap in reliable artificial intelligence by demonstrating the applicability of active learning in noisy environments. In particular, in fields such as medical imaging and autonomous systems, where labeling is expensive and prone to error, AUDF has high practical value.

REFERENCES

1. Denton, E., Hanna, A., Amironesei, R., Smart, A., & Nicole, H. (2021). On the genealogy of machine learning datasets: A critical history of ImageNet. Big Data & Society, 8(2).

2. Chae, J., & Hong, S. (2020). Pool-based sequential active learning with multi kernels. arXiv preprint arXiv:2010.11421.

3. Buchert, F., Navab, N., & Kim, S. T. (2023). Toward Label-Efficient Neural Network Training: Diversity-Based Sampling in Semi-Supervised Active Learning. IEEE Access, 11, 5193-5205.

4. Zhan, X., Liu, H., Li, Q., & Chan, A. B. (2021). A Comparative Survey: Benchmarking for Pool-based Active Learning. Proceedings of the Thirtieth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 4679-4686.

5. Wang, Z. and Brenning, A. (2021). Active-Learning Approaches for Landslide Mapping Using Support Vector Machines. Remote Sensing, 13(13), 2588.

6. Wei, J., Zhu, Z., Cheng, H., Liu, T., Niu, G., & Liu, Y. (2021). Learning with noisy labels revisited: A study using real-world human annotations. arXiv preprint arXiv:2110.12088.

7. Nguyen, V., Shaker, M., & Hüllermeier, E. (2021). How to measure uncertainty in uncertainty sampling for active learning. Machine Learning, 111(1), 89-122.

8. Algan, G. and Ulusoy, İ. (2021). Image classification with deep learning in the presence of noisy labels: A survey. Knowledge-Based Systems, 215, 106771.

9. Song, H., Kim, M., Park, D., Shin, Y., & Lee, J. (2023). Learning From Noisy Labels With Deep Neural Networks: A Survey. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 34(11), 8135-8153.

10. Tian, Z., Zhi, P., Guan, Y., & Xing-hua, H. (2023). An active learning Kriging-based multipoint sampling strategy for structural reliability analysis. Quality and Reliability Engineering International, 40(1), 524-549.

11. Sener, O., & Savarese, S. (2017). Active learning for convolutional neural networks: A core-set approach. arXiv preprint arXiv:1708.00489.

12. Ash, J. T., Zhang, C., Krishnamurthy, A., Langford, J., & Agarwal, A. (2019). Deep batch active learning by diverse, uncertain gradient lower bounds. arXiv preprint arXiv:1906.03671.

13. Arpit, D., Jastrzębski, S., Ballas, N., Krueger, D., Bengio, E., Kanwal, M. S., ... & Lacoste-Julien, S. (2017, July). A closer look at memorization in deep networks. In International Conference on Machine Learning (pp. 233-242). PMLR.

14. Han, B., Yao, Q., Yu, X., Niu, G., Xu, M., Hu, W., ... & Sugiyama, M. (2018). Co-teaching: Robust training of deep neural networks with extremely noisy labels. Adv. Neural Inf. processing systems, 31.

15. Li, J., Socher, R., & Hoi, S. C. (2020). Dividemix: Learning with noisy labels as semi-supervised learning. arXiv preprint arXiv:2002.07394.

16. Shafir, N., Hacohen, G., & Weinshall, D. (2025). Active Learning with a Noisy Annotator. arXiv preprint arXiv:2504.04506.

17. Yuan, B., Chen, Y., Zhang, Y., & Jiang, W. (2024, August). Hide and seek in noise labels: Noise-robust collaborative active learning with LLMs-powered assistance. In Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers) (pp. 10977-11011).

18. Xiao, R., Dong, Y., Wang, H., Feng, L., Wu, R., Chen, G., & Zhao, J. (2022). Promix: Combating label noise by maximizing clean sample utility. arXiv preprint arXiv:2207.10276.

KOLONOSKOPİ TABANLI POLİP SEGMENTASYONUNDA VERİ SETİ YANLILIĞI

Öğr. Gör. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL
Gümüşhane Üniversitesi
nurhandb@gumushane.edu.tr - 0000-0002-4964-5438

Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL
Karadeniz Teknik Üniversitesi,
bingolo@ktu.edu.tr - 0000-0001-6251-6537

Prof. Dr. Kemal TURHAN
İzmir Ekonomi Üniversitesi,
kemal.turhan@izmirekonomi.edu.tr - 0000-0001-7871-3025

ÖZET

Kolorektal kanser, dünya genelinde kansere bağlı morbidite ve mortalitenin önde gelen nedenlerinden biri olmaya devam etmektedir. Bu patolojinin önlenmesinde ve erken teşhisinde kolonoskopi, altın standart tarama yöntemi olarak kabul edilmektedir. Ancak, endoskopik prosedürlerin başarısı, büyük ölçüde operatörün deneyimine, dikkatine ve prosedür sırasındaki çevresel koşullara bağlıdır. İnsan hatasını minimize etmek amacıyla geliştirilen derin öğrenme tabanlı otomatik polip segmentasyon sistemlerindeki en büyük engel, veri seti yanlılığı ve bunun sonucunda ortaya çıkan çapraz alan genellenebilirliği sorunudur. Bu çalışma, açık kaynaklı veri setlerinin (Kvasir-SEG, CVC-ClinicDB, ETIS-LaribPolypDB, CVC-ColonDB, PolypGen vb.) karakteristik özelliklerini, bu veri setleri arasındaki istatistiksel dağılım farklarını ve bu farkların Evrişimsel Sinir Ağları ve Vision Transformer tabanlı mimarilerin performansı üzerindeki etkilerini istatistiksel derinlikle analiz etmektedir. Ayrıca bu çalışmada, görüntü edinimi, popülasyon seçimi ve annotasyon süreçlerinden kaynaklanan yanlılıkların, modelin öğrenme dinamiklerini nasıl şekillendirdiği ve Alana Aşırı Uyum problemine nasıl yol açtığı irdelenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Derin öğrenme, Kolonoskopi görüntüleri, Veri seti yanlılığı, Polip segmentasyonu.

DATASET BIAS IN COLONOSCOPY-BASED POLYP SEGMENTATION

Lect. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL
Gümüşhane University
nurhandb@gumushane.edu.tr - 0000-0002-4964-5438

Asst. Prof. Dr. Özkan BİNGÖL
Karadeniz Technical University,
bingolo@ktu.edu.tr - 0000-0001-6251-6537

Prof. Dr. Kemal TURHAN
Izmir University of Economics,
kemal.turhan@izmirekonomi.edu.tr - 0000-0001-7871-3025

ABSTRACT

Colorectal cancer remains one of the leading causes of cancer-related morbidity and mortality worldwide. Colonoscopy is the gold standard screening method for the prevention and early diagnosis of colorectal cancer (CRC). However, the success of endoscopic procedures largely depends on the operator's experience, attention, and environmental conditions during the procedure. The biggest obstacle in deep learning-based automated polyp segmentation systems developed to minimize human error is dataset bias and the resulting cross-domain generalization problem. This study analyzed the characteristics of existing open-source datasets (Kvasir-SEG, CVC-ClinicDB, ETIS-LaribPolypDB, CVC-ColonDB, PolypGen, etc.), the statistical distribution differences between these datasets, and the effects of these differences on the performance of Convolutional Neural Networks and Vision Transformer-based architectures with statistical depth. This study also examined how biases arising from image acquisition, population selection, and annotation processes shape the learning dynamics of the model, leading to overfitting.

Keywords: Deep learning, Colonoscopy images, Dataset bias, Polyp segmentation.

1. GİRİŞ

Colorectal cancer, despite being a preventable pathology, remains one of the leading causes of morbidity and mortality. Colonoscopy is considered the gold standard method for the early diagnosis and treatment of this disease, and the success of the procedure is measured directly by the Adenoma Detection Rate (ADR). Medical literature has proven that each 1% increase in the ADR reduces the cancer risk by 3%, highlighting the importance of detecting and removing polyps [1]. However, the anatomical folds of the colon, inadequate bowel preparation, lesions hidden behind mucosal folds, and limitations of the endoscope's field of view can all contribute to missing polyps during the procedure. More importantly, the diversity in polyp morphology is one of the main factors complicating detection. According to the Paris classification, pedunculated (stalked) polyps are relatively easier to detect, whereas sessile (unstalked) and, in particular, flat or depressed lesions can be missed even by experienced endoscopists [2].

Deep learning-based segmentation systems, developed in response to this critical need, have demonstrated great potential by exhibiting superhuman performance, particularly in environments compatible with the datasets on which they were trained [3]. However, the biggest weakness of deep learning models is their excessive dependence on the data. Although these models often learn the statistical distributions in the training data perfectly, they become fragile when confronted with data outside this distribution. In medical imaging, ethical and legal barriers to data sharing (such as the KVKK and GDPR) have generally led to datasets being collected from a single center using a single device brand and specific population [4]. This situation gives rise to a problem known as Dataset Bias and causes generalizability issues in polyp segmentation. This study aimed to analyze the systematic biases in dataset ecology that underlie generalizability, measure the resilience of different architectures to this challenge, and explore advanced strategies to address these issues.

2. DATASETS AND BIAS ANALYSIS

The benchmark colonoscopy image datasets commonly used as standards in the literature are not singular, homogeneous pools; rather, they are ecosystems with distinct content identities, each bearing the unique signature of the center where they were collected, the devices used, and the patient populations. Table 1 provides a detailed comparison of the technical and content-specific characteristics of the most frequently used open-source datasets for polyp segmentation research. The main datasets in the literature—Kvasir-SEG [5], CVC-ClinicDB [6], and ETIS-Larib [7]—are distinguished from each other not only by the number of images they contain, but also by their specific content identities. Kvasir-SEG, originating from Norway, offers a realistic clinical variety; however, the Spanish CVC-ClinicDB typically includes large, prominent, and highly saturated ideal polyps. In contrast, the ETIS-Larib from France acts as a stress test for current models, as it features small, flat lesions with low contrast against the surrounding mucosa. The domain shift causing performance differences among models across these datasets can be systematically examined under three main categories: image acquisition, selection and annotation biases.

Table 1. Commonly used colonoscopy datasets in the literature include

Dataset	Number of Images	Resolution	Center	Dominant Polyp Type	Artifact Density
Kvasir-SEG [5]	1.000	332x487 - 1920x1072	Vestre Viken (Norway)	Mixed (Pedunculated, Sessile). Realistic clinical diversity.	Moderate (presence of reflection, fluid, fecal residue)
CVC-ClinicDB[6]	612	384x288 (SD)	Hospital Clinic (Spain)	Usually large, prominent, and pedunculated polyps.	Low. High saturation, artificial-looking cleanliness.
ETIS-Larib [7]	196	1225x966 (HD)	Lariboisière (France)	Small (<10mm), flat, low contrast with the mucosa.	High. Blur, insufficient lighting, shutdown.
CVC-ColonDB[8]	380	574x500	Spain	Taken from different perspectives, with a high variety of shapes.	Moderate. Partial visibility and shape deformations.
PolypGen [9]	1.537	Mixed	Multi-Centered (6 Centers)	Wide variety. Contains negative squares.	Variable. Aims for generalization with multicenter data.
CVC-300 (EndoScene) [10]	60	500x574	Spain	Selected clean samples.	Low. It is generally used as a test set.

2.1. Imaging Acquisition Bias

Each endoscopy unit uses systems from different manufacturers (e.g., Olympus, Pentax, and Fujifilm). Each of these systems uses different color filter arrays, image processing algorithms, and light sources (such as Xenon, LED). In terms of color space and illumination, the CVC-ClinicDB dataset, collected from the Hospital Clinic in Spain, contains images with distinctly warm color tones (dominated by red/yellow) and high saturation [11]. In contrast, the Norway-based Kvasir-SEG dataset has a cooler and more natural color palette than the other datasets. When a deep learning model is trained on CVC-ClinicDB, it encodes polyps as bright reddish objects. When this model encounters the paler and lower-contrast environment of ETIS-Larib, it fails to distinguish polyps owing to mismatched color thresholds. In terms of resolution and noise profile, ETIS-Larib consists of 1225 × 966 pixel high-definition (HD) images, whereas CVC-ClinicDB contains 384 × 288 pixel standard-definition (SD) images [12]. A model trained on SD images may mistakenly interpret subtle mucosal textures or camera sensor noise (ISO noise) in HD images as polyp tissue (False Positive). Conversely, a model trained on HD data may not tolerate the loss of detail in the SD data. In contrast, specular reflections appear as bright white spots caused by light reflecting off the wet mucosal surface. In some datasets, such as CVC-ColonDB [8], these reflections are intense, whereas in others, they are less so. Models may mistakenly learn these bright spots as polyp features and boundaries. Examples of these biases are presented in Figure 1.

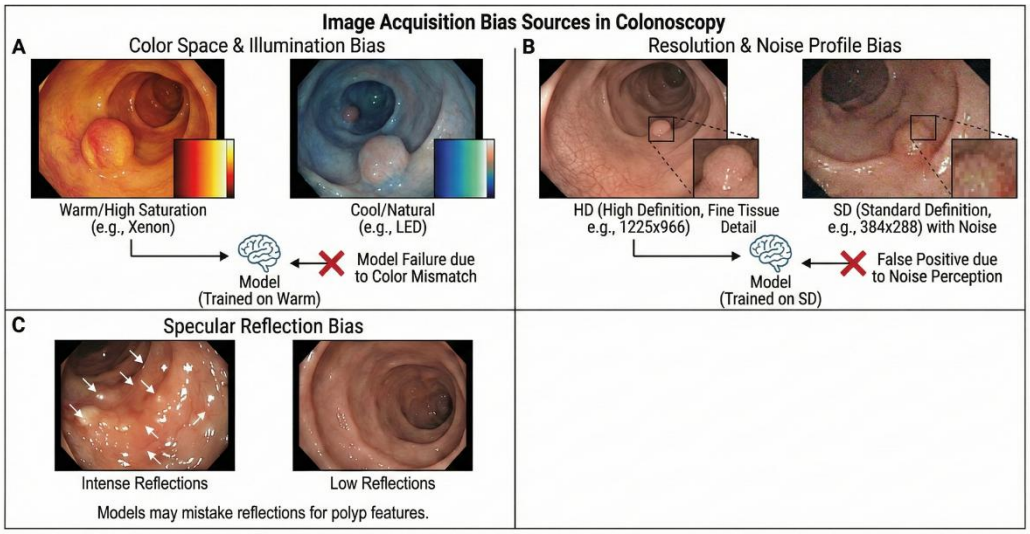


Figure 1. Examples of endoscopic image acquisition bias

2.2. Population and Selection Bias

The decision of which images to include in a dataset is generally at the discretion of the experts collecting the data, creating a significant selection bias. The CVC-ClinicDB and Kvasir-SEG datasets typically contain ideal polyp images that can be used as educational tools. In these images, the polyps are usually large, pedunculated, and centered within the frame. However, in real life—and especially in the ETIS-Larib dataset—polyps are small (<6 mm), flat, and the same color as the colon wall [13]. The ETIS dataset was specifically designed to simulate polyps that are commonly missed during colonoscopy. Therefore, model failures in the ETIS represent failures in the most dangerous clinical scenarios. Moreover, most polyp segmentation datasets (CVC-ClinicDB and Kvasir-SEG) consist only of frames containing polyps ("positive" cases). However, over 90% of colonoscopy videos consist of images of normal mucosa without any polyps. Models trained only on positive examples tend to continuously search for polyps in normal tissues (e.g., the ileocecal valve, appendiceal orifice, or stool fragments) and generate a high rate of False Positives. New datasets, such as PolypGen [9], aim to address this bias by including negative frames [14]. The effects of population and selection biases are illustrated in Figure 2.

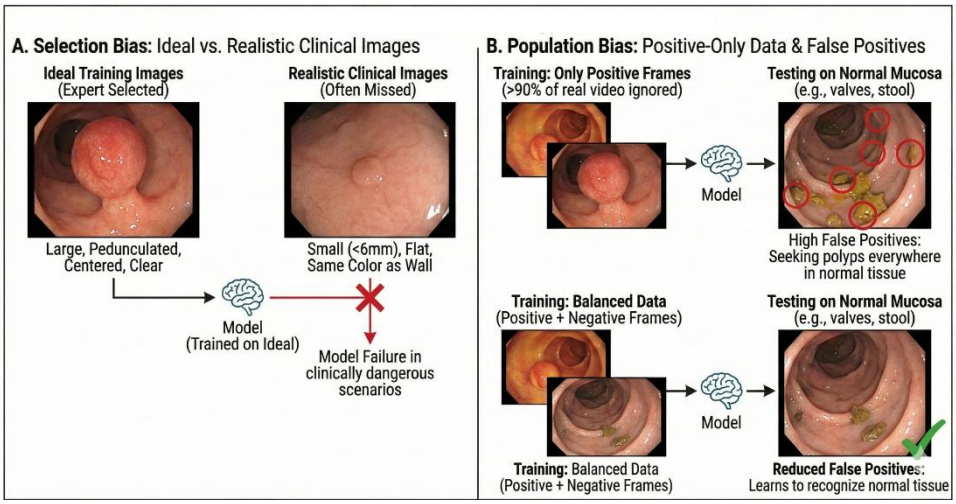


Figure 2. Sources and effects of population and selection bias.

2.3. Annotation Bias

The masks accepted as reference Ground Truth for segmentation were manually drawn by experts. However, this process was subjective in nature. In particular, there is high variability among experts regarding the location of the polyp and normal mucosa in flat polyps. While the boundaries in Kvasir-SEG are generally drawn precisely and tightly, some masks in the CVC-ClinicDB are drawn more roughly. Examples of these situations are illustrated in Figure 3. The model may learn the annotator's drawing style instead of the polyp features. Additionally, when there is more than one polyp in a frame but only the largest is labeled, the model may learn to treat the other polyps as background [13].

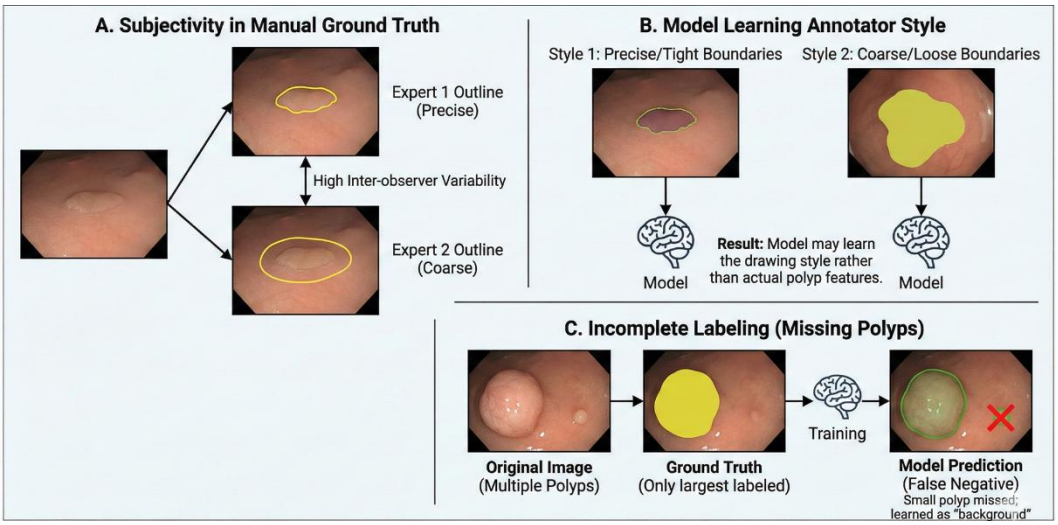


Figure 3. Sources of annotation bias and their effects on the model.

3. FIELD BIAS AND GENERALIZABILITY GAP

In machine learning theory, the difference between a model's success on training data and its success on test data is defined as the Generalizability Gap. In medical imaging, this gap can reach dramatic proportions owing to domain shifts. Table 2 shows the differences in performance that arise when models trained on the "source" datasets Kvasir-SEG and CVC-ClinicDB are tested on both these datasets and on the completely unseen ETIS-Larib dataset. This table was created using data compiled from studies in the literature and reveals the scale of the problem in the field.

Based on the data in table and the literature review, the following critical conclusions can be drawn:

1. When classical Convolutional Neural Network (CNN) architectures (such as U-Net[18], U-Net++[19]) are transferred to challenging target domains such as ETIS-Larib, they lose more than half of their performance (0.90 -> 0.40). This can be explained by the local receptive-field structure of CNNs. CNN filters tend to focus excessively on specific texture and edge features in the training datasets. The blurry boundaries and low contrast in the ETIS-Larib dataset hinder the operation of these local filters, preventing the model from perceiving polyps as individual entities [15].

2. Vision Transformer (ViT)-based models, such as Polyp-PVT[16] and SSFormer[21], are much more resistant to domain shifts than CNNs. On the ETIS dataset, Polyp-PVT achieved an mDice score approximately 40% higher (0.787) than that of U-Net [16]. This is because the Self-Attention mechanism, which forms the basis of transformers, models the relationships between pixels across the entire image. Thus, the model focuses not only on the local texture of the polyp but also on its global shape and semantic relationship with its surroundings. Even if the image quality or lighting changes, transformer models perform better because the geometric integrity of the polyps is maintained [17].

Table 2. Cross-validation results with different datasets

Model Architecture	**Training Set**	**Test Set (in Domain) mDice**	**Test Set (ETIS-Larib) mDice**	**Performance Loss**
U-Net [18]	Kvasir + ClinicDB	0.90 (Ort.)	~0.398 - 0.428	**~50-60%**
U-Net++ [19]	Kvasir + ClinicDB	0.898	0.401	**~55%**
PraNet [20]	Kvasir + ClinicDB	0.925 (ClinicDB)	0.628	**~32%**
Polyp-PVT [16] (Transformer)	Kvasir + ClinicDB	0.93-0.94	0.787	**~15-16%**
SSFormer [21] (Transformer)	Kvasir + ClinicDB	0.94+	0.793	**~15%**

4. ARCHITECTURAL RESISTANCE AND PERFORMANCE ANALYSIS

U-Net, U-Net++, and PraNet[20] are among the most commonly used convolution-based architectures for medical-image segmentation. The convolution operation extracts local feature maps by processing pixels with their neighbors. Although the receptive field widens with increasing depth, its fundamental structure remains localized to the skin. CNNs are susceptible to a phenomenon called Texture Bias. Studies on large datasets, such as ImageNet, have shown that CNNs classify objects based on their texture rather than their shape. In polyp segmentation, this causes the model to focus on a specific texture pattern of the polyp, rather than its rounded shape. When the texture pattern in the training data changes owing to differences in camera resolution, the CNN performance degrades [13]. For example, PraNet aims to improve the boundaries using its Parallel Reverse Attention module. Although it delivers very fast (~45 frames per second (FPS)) and accurate results (0.925 mDice) on clean datasets such as CVC-ClinicDB, its performance decreases by 30% for low-contrast boundaries in the ETIS data [22].

Models such as Polyp-PVT and SSFormer, on the other hand, use the Transformer architecture adapted from the field of Natural Language Processing. They divided the image into patches and calculated the relationship of each patch with all other patches using a self-attention mechanism. This enables the model to obtain a global understanding of the entire image. The Polyp-PVT model uses a pyramid-structured transformer (PVT v2) encoder. In particular, its component, called the Cascaded Fusion Module, combines high-level semantic information (the location of the polyp) with low-level features. The Camouflage Identification Module, on

the other hand, is designed to detect polyps that are hidden in low-level features (such as texture). These modules enable detection based on the global context, even if the texture of the polyp is the same as that of the background[16]. However, Transformers require more computational power and memory than CNNs. Additionally, owing to the lack of Inductive Bias, they may be more prone to overfitting on very small datasets; however, pre-trained weights help mitigate this issue [23].

The Segment Anything Model (SAM), published by Meta, is a massive model trained on 11 million images and 1 billion masks [24]. Its version adapted for the medical field, MedSAM, was fine-tuned using 1.5 million medical images. [25]. The greatest advantage of SAM is its Zero-Shot capability. It can perform reasonable segmentation, even on datasets that have not been previously observed. Because SAM is trained on natural images, it may struggle with the low-contrast and ambiguous boundaries (i.e., low-level medical features) of these images. When applied directly, it may fall behind SOTA models for polyp segmentation. Instead of fully retraining the model, small trainable layers are added to the model using techniques such as Low-Rank Adaptation (LoRA). In this way, while the model's general vision capability is preserved, it can learn polyp-specific features [17]. Table 3 summarizes the general characteristics of the different architectural approaches.

Table 3. General characteristics and cross-domain achievements of different architectural types

Architecture Type	Model Name	Speed	Training Data Dependency	Cross-Domain Success	Description
CNN	U-Net, PraNet	High	High (Dependent on local characteristics)	Low	Sensitive to document changes, rapid inference.
Transformer	Polyp-PVT, SSFormer	Medium /Low	Medium (Uses the global context)	High	More resilient thanks to global shape intelligence.
Foundation	SAM, MedSAM	Low	Low (Zero-shot capability)	Variable	Requires fine-tuning, high computational cost.

5. STRATEGIES TO REDUCE BIASES

After diagnosing the problem of dataset bias, advanced techniques and strategies aimed at actively reducing or eliminating this issue have become central to academic research and clinical practice in recent years. These approaches focus on intelligently manipulating data and training processes rather than simply solving problems using more powerful architectures. The general operating principles of these approaches are shown in Figure 4.

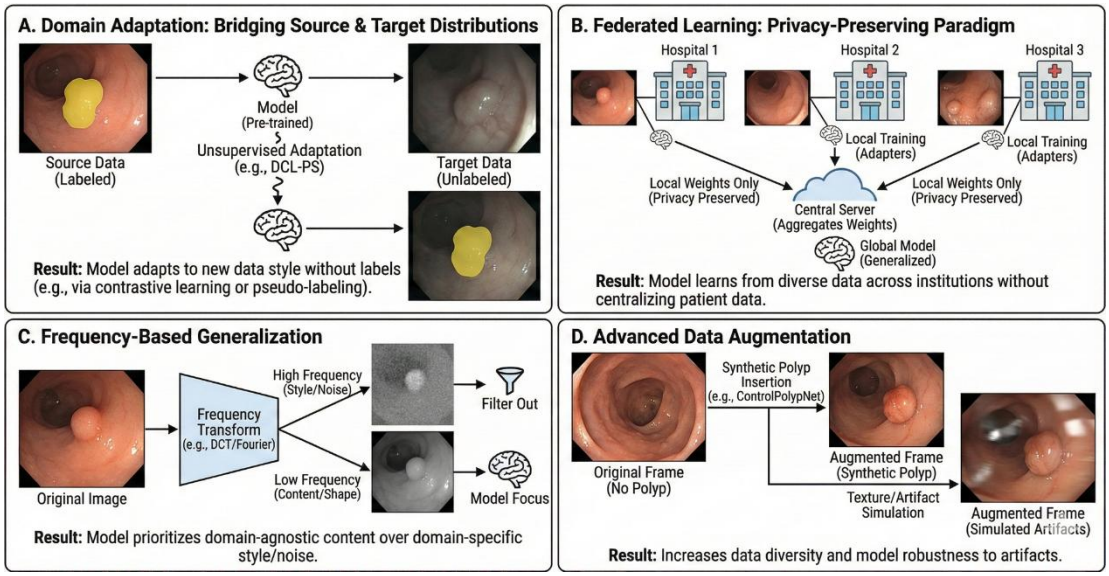


Figure 4. Strategies for Mitigating Dataset Bias in Polyp Detection

5.1. Domain Adaptation

This strategy aims to bridge the distribution gap between a labeled source dataset and an unlabeled target dataset (e.g., new data from other hospitals). Unsupervised Domain Adaptation is the most popular approach in this area. Methods such as DCL-PS enhance the model performance in the target domain without the need to label the target data [26]. In practice, this means that a model trained on data from a hospital in Norway can adapt to new, completely unlabeled images from a hospital in France, as if it had been trained on those images. This is achieved through a contrastive learning mechanism that brings together pixels with similar features from the source and target domains in the feature space, while pushing apart dissimilar pixels. Additionally, with pseudo-labeling, the model temporarily labels the pixels in the target data for which it has high-confidence predictions, and then retrains itself using these labels to adapt to the new domain [27].

5.2 Federated Learning

The confidentiality of medical data (laws such as KVKK and GDPR) is the biggest obstacle to collecting data from different institutions on a centralized server. Federated Learning is a privacy-preserving machine learning paradigm designed to overcome this barrier. In innovative approaches such as PolypSAM-FL, patient data never leaves the hospital. Instead, each institution trains small and lightweight adapters of the central model using local data. Only these trained small adapter weights were merged into the central server. This process allows the model to be indirectly exposed to diverse data from different centers, preventing it from overfitting to the bias of a single center and granting it a "natural generalization" capability. Experiments have shown that PolypSAM-FL provides performance as high as centralized training (0.987 mDice) without centralizing the data [28].

5.3 Frequency-Based Generalization

This approach is based on the origin of the domain shift in frequency analysis. It operates under the assumption that style differences between different endoscopy devices (such as color, texture, and noise) are typically found in the high-frequency components of the image, whereas

information about the content or shape of the polyp is located in the low-frequency components. Models such as FBGANet separate an image into its frequency components using techniques such as the Fourier or Discrete Cosine Transform (DCT). In this way, they focus on teaching the model to filter out domain-specific high-frequency noise that hampers generalization while preserving domain-independent low-frequency structural information [29]. This strategy increases the generalization capability by ensuring that the model focuses on the content rather than the style.

5.4 Data Augmentation Techniques

In addition to traditional data augmentation methods, such as rotation, scaling, and cropping, techniques such as ControlPolypNet or Polyp-Inpainting can increase data diversity by adding artificial polyps to non-polyp frames or by altering the texture of existing polyps. Furthermore, augmentation techniques that simulate specular reflections or motion blur enhance the robustness of the model against these artifacts [30].

6. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

The analyses presented in this study clearly demonstrate that the main bottleneck in colonoscopic polyp segmentation is not algorithmic insufficiency but rather dataset bias and the resulting domain mismatch. The high-performance scores achieved on popular benchmark datasets mask the challenges faced by models when transitioning from laboratory to clinical settings. The main conclusions of our analyses are as follows:

- Models trained on currently popular datasets exhibit a significant failure to generalize when tested on datasets such as ETIS-LaribPolypDB, which simulates clinically challenging scenarios, losing nearly half of their performance (approximately 50% decrease).
- Transformer-based architectures, owing to the “Self-Attention” mechanism and their ability to understand the global context of an image, exhibit a more robust profile against domain shifts than CNNs, which tend to focus excessively on local textures.

Future projections indicate that the ultimate solution does not lie in developing a single “super model.” Instead, the solution involves adopting privacy-preserving approaches such as Federated Learning, data-centric methods such as Unsupervised Domain Adaptation (UDA), and creating new-generation datasets that are multicentric, balanced, and include negative examples. Consequently, the success of Computer-Aided Diagnosis systems developed in the future should be measured not only by academic metrics, such as high Dice scores, but also by their ability to adapt to different clinical environments and patient populations. The true criterion for success will be how significantly these systems contribute to real-world outcomes, such as the Adenoma Detection Rate. Otherwise, it will be inevitable to fall into the trap of the ‘Dice Illusion’—where high scores representing academic achievement conceal clinical failure, that is, missed and potentially life-threatening small lesions in the colon.

REFERENCES

1. Meng J, Xue L, Chang Y, Zhang J, Chang S, Liu K, Liu S, Wang B, Yang K. Automatic detection and segmentation of adenomatous colorectal polyps during colonoscopy using Mask R-CNN. *Open Life Sci*. 2020 Aug 14;15(1):588-596.

2. Vormbrock K, Mönkemüller K. Difficult colon polypectomy. *World J Gastrointest Endosc.* 2012 Jul 16;4(7):269-80.

3. Kalsotra R, Arora S. Performance analysis of U-Net with hybrid loss for foreground detection. *Multimed Syst.* 2023;29(2):771-786.

4. Shen T and Li X (2023) Automatic polyp image segmentation and cancer prediction based on deep learning. *Front. Oncol.* 12:1087438.

5. Jha, D., Smedsrud, P. H., Riegler, M. A., Halvorsen, P., de Lange, T., Johansen, D., & Johansen, H. (2020). *Kvasir-SEG: A segmented polyp dataset*. Proceedings of the 21st International Conference on Multimedia Modeling (MMM), 451–462.

6. Bernal, J., Sánchez, F. J., Vilariño, G., & Relaño, F. (2015). WM-DOVA maps for accurate polyp highlighting in colonoscopy images. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 43, 99–111.

7. Silva, J. S., Histace, A., Romain, O., Dray, X., & Granado, B. (2014). Toward canonical video summaries of optical colonoscopy. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(2), 641–652.

8. Bernal, J., Vilariño, J., Sánchez, F. J., Rodríguez, O., & Dray, X. (2012). CVC-ColonDB. Computer Vision Center. http://cvc.uab.es/CVC-Colon/index.php/databases/cvc-colondb/, (Accessed at 12/12/2025)

9. Ali, S., Jha, D., Ghatwary, N., Realdon, S., Cannizzaro, R., Salem, N. M., ... & Riegler, M. A. (2021). PolypGen: A multi-center polyp detection and segmentation dataset for generalizability assessment. arXiv preprint arXiv:2106.04463.

10. Vázquez, D., Bernal, J., Sánchez, F. J., Fernández-Esparrach, G., López, A. M., Romero, A., Drozdzal, M., & Courville, A. (2017). A benchmark for endoluminal scene segmentation of colonoscopy images. *Journal of Healthcare Engineering* 2017, Article 4037190.

11. Tudela Y, Majó M, de la Fuente N, Galdran A, Krenzer A, Puppe F, Yamlahi A, Tran TN, Matuszewski BJ, Fitzgerald K, Bian C, Pan J, Liu S, Fernández-Esparrach G, Histace A, Bernal J. A complete benchmark for polyp detection, segmentation, and classification in colonoscopy images. *Front Oncol*. 2024 Sep 24;14:1417862.

12. Eu CY, Tang TB, Lin CH, Lee LH, Lu CK. Automatic Polyp Segmentation in Colonoscopy Images Using a Modified Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture. *Sensors*.21(16):5630.

13. Liu, X., Isa, N. A. M., Chen, C., & Lv, F. (2025). Colorectal Polyp Segmentation Based on Deep Learning Methods: A Systematic Review. Journal of Imaging, 11(9), 293.

14. Mameli M, Shiralizadeh S, Papi M, Coltea IG. DeepPolyp: an artificial intelligence framework for polyp detection and segmentation. *Explor Digit Health Technol*. 2025;3:101158.

15. Wang, Z., Liu, Z., Yu, J., Gao, Y., & Liu, M. (2024). Multiscale nested UNet with transformer for colorectal polyp segmentation. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 25(6), e14351.

16. Dong, B., Wang, W., Fan, D. P., Li, J., Fu, H., & Shao, L. (2021). Polyp-pvt: Polyp segmentation using pyramid-vision transformers. arXiv preprint arXiv:2108.06932.

17. LoRA-Tuned Segment Anything Model for Few-Shot Polyp Segmentation in Colonoscopy Images. (2025). *Journal of Carcinogenesis*, 24(3), 372-386.

18. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). *U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation*. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015, 234–241.

19. Zhou, Z., Rahman Siddiquee, M. M., Tajbakhsh, N., & Liang, J. (2018, September). *UNet ++: A nested U-Net architecture for medical image segmentation*. In the International Workshop on Deep Learning in Medical Image Analysis (pp. 3-11). Cham: Springer International Publishing.

20. Fan, D. P., Ji, G. P., Zhou, T., Chen, G., Fu, H., Shen, J., & Shao, L. (2020, September). *Pranet: Parallel reverse attention network for polyp segmentation*. In the International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (pp. 263-273). Cham: Springer International Publishing.

21. Shi, W., Xu, J., & Gao, P. (2022, September). *Ssformer: A lightweight transformer for semantic segmentation*. In 2022 IEEE 24th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP) (pp. 1-5). IEEE.

22. Shi, L., Wang, Y., Li, Z., & Qiumiao, W. (2022). FRCNet: Feature Refining and Context-Guided Network for Efficient Polyp Segmentation. *Front Bioeng biotechnology*, 10, 799541.

23. Wang, Z., Liu, Z., Yu, J., Gao, Y., & Liu, M. (2024). Multiscale nested UNet with transformer for colorectal polyp segmentation. *Journal of applied clinical medical physics*, 25(6)

24. Delaquintana-Aramendi, U., Benito-del-Valle, L., Alvarez-Gila, A., Pascau, J., Sánchez-Peralta, L. F., Picón, A., ... & Saratxaga, C. L. (2025). AI-assisted Colonoscopy: Polyp Detection and Segmentation using Foundation Models. arXiv preprint arXiv:2503.24138.

25. Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., ... & Girshick, R. (2023). *Segment anything*. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 4015-4026).

26. Lu Z, Zhang Y, Zhou Y, Wu Y, Zhou T. Domain-Interactive Contrastive Learning and Prototype-Guided Self-Training for Cross-Domain Polyp Segmentation. *IEEE Trans Med Imaging.* 2025 Sep;44(9):3563-3573.

27. Malli, I., Vezakis, I. A., Kakkos, I., Kalamatianos, T., & Matsopoulos, G. K. (2025). Unsupervised Domain Adaptation for Automatic Polyp Segmentation Using Synthetic Data. *Applied Sciences*, 15(17), 9829.

28. Chen, X., Zhu, F., Li, D., Li, Q., Anwar, M. S., Shan, G., & Jiang, J. (2025). Towards Clinically Applicable Large-Model-Based Privacy-Preserving Polyp Segmentation: A Federated LoRA Approach to Colonoscopy. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 14(8)*.

29. Nam JH, Lee SC. Frequency-based boundary-guided attention network for domain-generalizable polyp segmentation from colonoscopy images. *Artif Intell Med.*171:103288.

30. Awesome-Polyp-Segmentation-https://github.com/taozh2017/Awesome-Polyp-Segmentation (Acceseed at 17/12/2025)

KURUMSAL YAPAY ZEKÂ CHATBOTLARINDA HALÜSİNASYON SORUNU VE RAG YAKLAŞIMI

Mehmet Emin ERSÖZ

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

m.eminersoz@outlook.com - ORCID: 0009-0004-1920-4684

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BİLEN

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

mbilen@mehmetakif.edu.tr - ORCID: 0000-0002-6016-2349

ÖZET

Büyük dil modelleri (Large Language Models - LLM) tabanlı chatbot sistemleri kurumsal süreçlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bu sistemlerin en kritik sorunu, var olmayan veya hatalı bilgileri sanki doğruymuş gibi güvenle sunmaları, diğer bir deyişle halüsinasyon (hallucination) üretmesidir. Özellikle insan kaynakları, finans, hukuk ve sağlık gibi hassas alanlarda yanlış bilgi üretimi ciddi operasyonel riskler ve yasal sorunlar doğurabilmektedir. Geleneksel LLM uygulamalarında modeller yalnızca eğitim sırasında öğrendikleri bilgilerle sınırlıdır. Bu durum güncel bilgilere erişim eksikliği, kuruma özgü bilgilerin modelde bulunmaması ve modelin istatistiksel tahminlerle ürettiği yanıtların doğruluğunun garanti edilememesi gibi temel sorunlara yol açmaktadır.

Bu çalışma kurumsal chatbot sistemlerinde halüsinasyon problemini ele almakta ve Erişim Destekli Metin Üretimi (Retrieval-Augmented Generation - RAG) yaklaşımının bu soruna nasıl çözüm sunabileceğini incelemektedir. RAG, LLM'in yanıt üretme sürecine harici bir bilgi erişim katmanı ekleyen hibrit bir mimaridir. Sistem; bilgi tabanı ve indeksleme, bilgi erişim modülü ve metin üretim modülü olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Kurumsal dokümanlar ve politika metinleri vektör veri tabanlarında saklanır, kullanıcı sorusuna semantik olarak en yakın bilgi parçaları anlamsal arama ile bulunur ve erişilen gerçek bilgiler LLM'e bağlam olarak iletilir. Model, bu bilgilere dayanarak yanıt üretir.

Çalışma kapsamında bir insan kaynakları departmanı için RAG ile bir chatbot geliştirilmiştir. Geliştirilen chatbot sistemi üzerinde karşılaştırmalı testler yapılmıştır. Çalışan izin politikaları, ücret artışı süreçleri, şirket içi eğitim programları ve performans değerlendirme prosedürleri gibi konularda standart bir LLM ve RAG tabanlı sistem karşılaştırılmıştır. Sonuçlar RAG yaklaşımının kurumsal bilgilere dayalı yanıtlarda daha yüksek doğruluk oranı sağladığını yanıtların kaynak belgelere referansla doğrulanabilir olduğunu ve sistemin bilgi olmadığında tahmin üretmeyerek halüsinasyon riskini azalttığını ortaya koymuştur.

Sonuçlar incelendiğinde, kritik iş süreçlerinde RAG mimarisinin daha yüksek performans sergilediği görülmüştür. Bunun yanı sıra, bilgi tabanının düzenli olarak güncellenmesi, sistemin bilgi yetersizliği durumlarında yanıt üretmekten kaçınma yeteneğinin incelenmesi ve yanıtlara kaynak belge referanslarının eklenmesi önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda ise farklı

sektörlerde ve daha geniş kullanıcı gruplarında uzun vadeli performans değerlendirmelerinin yapılması faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Büyük Dil Modelleri, Retrieval-Augmented Generation, Kurumsal Chatbotlar

HALLUCINATION ISSUES IN ENTERPRISE AI CHATBOTS AND THE RAG APPROACH

ABSTRACT

Chatbot systems based on Large Language Models (LLMs) have been widely adopted in enterprise processes. However, the most critical challenge facing these systems is "hallucination"—the tendency to confidently present non-existent or inaccurate information as factual. In sensitive domains such as human resources, finance, law, and healthcare, the generation of misinformation can lead to severe operational risks and legal complications. In traditional LLM applications, models are limited to the information acquired during their training phase. This constraint results in fundamental issues, including a lack of access to real-time data, the absence of proprietary corporate information within the model, and the inability to guarantee the accuracy of responses derived from statistical predictions.

This study addresses the hallucination problem in enterprise chatbot systems and examines how the Retrieval-Augmented Generation (RAG) approach can provide a solution. RAG is a hybrid architecture that integrates an external information retrieval layer into the LLM's response generation process. The system consists of three core components: a knowledge base and indexing, an information retrieval module, and a text generation module. Corporate documents and policy texts are stored in vector databases; the information most semantically relevant to a user's query is identified through semantic search, and the retrieved factual data is provided to the LLM as context. The model then generates a response based strictly on this information.

Within the scope of this research, a RAG-based chatbot was developed for a human resources department. Comparative tests were performed on the developed system, evaluating a standard LLM against the RAG-based architecture across topics such as employee leave policies, salary increment processes, internal training programs, and performance evaluation procedures. The results demonstrate that the RAG approach achieves a higher accuracy rate for responses based on corporate data, ensures that answers are verifiable via source document references, and significantly mitigates the risk of hallucination by preventing the system from generating speculative answers when information is missing.

The findings indicate that the RAG architecture exhibits superior performance in critical business processes. Furthermore, it is recommended to update the knowledge base regularly, analyze the system's capacity to refrain from responding in cases of insufficient information, and include source document citations in responses. Future research should focus on conducting long-term performance evaluations across different industries and larger user groups.

Keywords: Large Language Models, Retrieval-Augmented Generation, Enterprise Chatbots

EXPLORING THE INTERSECTION OF GENETICS, CREATIVITY, AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Asst. Prof. Şeyma BOZKURT UZAN
İstanbul Beykent University,
seymauzan@beykent.edu.tr - https://orcid.org/0000-0003-3527-3730

Research Assistant, Yasemin SİPAHİ
The University of Georgia,
Yasemin.sipahi@uga.edu - https://orcid.org/0000-0002-9719-1952

Undergraduate Student, Şevval ARABACIOĞLU
Middle East Technical University,
sevval.arabacioglu@metu.edu.tr - https://orcid.org/0009-0008-8451-360X

ABSTRACT

The rapid advancement of artificial intelligence has opened new avenues for understanding human creativity. While substantial research exists in genetics, artificial intelligence, and creativity independently, their combined exploration remains limited. In this study, we conducted a bibliometric analysis using Web of Science (WoS) to examine how these domains intersect and to identify the extent to which interdisciplinary approaches have been applied. From an initial dataset of 2,621 studies, we applied keyword filtering and grouping to isolate studies relevant to artificial intelligence, creativity, and biology. Our final dataset comprised 165 studies; However, analysis revealed that none fully addressed the intersection of all three domains. This finding demonstrates that even though there is growing interest in both artificial intelligence and human potential, there remains a lack of integrated research connecting biological foundations with computational approaches. The gap we identified highlights an underexplored area in interdisciplinary research and emphasizes the importance of connecting these perspectives. Such integration could provide new insights into the genetic and cognitive mechanisms underlying creativity by offering opportunities to redefine how we study creativity through both biological and technological lenses. By identifying this gap, this work not only maps the current state of research but also proposes directions for future studies that aim to link genetics, creativity, and artificial intelligence more systematically and collaboratively.

Keywords: Genetics, Creativity, Artificial Intelligence, Bibliometric Analysis

Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu İlaçlarına Yönelik Hasta Geri Bildirimlerinin Doğal Dil İşleme ve Büyük Dil Modelleri ile Analizi

Yüksek Lisans Öğrencisi Mertcan Sarıgül

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı

mrtcn.srgll@gmail.com - 0009-0008-4230-5263

Doç. Dr. Özgür Gümüş

Ege Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

ozgur.gumus@ege.edu.tr - 0000-0003-3279-5998

ÖZET

Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu (DEHB) tedavisinde yaygın olarak kullanılan metilfenidat ve amfetamin türevi ilaçların etkinliği klinik araştırmalarla kanıtlanmış olsa da hastaların gerçek dünya koşullarındaki deneyimleri ve uzun vadeli memnuniyet düzeyleri geleneksel yöntemlerle tam olarak ölçülememektedir. Bu çalışmanın amacı, WebMD platformu üzerindeki yapılandırılmamış kullanıcı yorumlarını analiz ederek, bu ilaçlara yönelik hasta duyarlılığını, yan etki profillerini ve memnuniyet belirleyicilerini tespit etmektir. (https://www.webmd.com/) Çalışma kapsamında web kazıma yöntemiyle toplanan 6.000'den fazla kullanıcı yorumu, Doğal Dil İşleme (NLP) teknikleri ile ön işlemden geçirilmiştir. Veri seti üzerinde Lojistik Regresyon, SVM, XGBoost gibi geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarının yanı sıra, BERT, DistilBERT ve BioBERT gibi gelişmiş dil modelleri eğitilerek performansları karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçları, DistilBERT modelinin %87,7 doğruluk ve 0,941 ROC-AUC skoru ile en yüksek sınıflandırma başarısını gösterdiğini ortaya koymuştur. BioBERT ve BERT modelleri de geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine kıyasla üstün performans sergilemiştir. Latent Dirichlet Allocation (LDA) ile yapılan konu modellemesi sonucunda, yüksek memnuniyetin "odaklanma artışı" ve "yaşam kalitesindeki iyileşme" ile; düşük memnuniyetin ise "duygudurum dalgalanmaları" ve "uykusuzluk" ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, büyük ölçekli çevrimiçi hasta deneyimlerinin NLP ve Derin Öğrenme yöntemleriyle analiz edilmesinin, farmakovijilans süreçlerine ve kişiselleştirilmiş tedavi stratejilerine önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: DEHB, Doğal Dil İşleme, Makine Öğrenmesi, Büyük Dil Modelleri, Duygu Analizi

1. GİRİŞ

Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu (DEHB), çocukluk çağında başlayan ve yetişkinlikte de devam edebilen; dikkat eksikliği, hiperaktivite ve dürtüsellik ile karakterize nörogelişimsel bir bozukluktur. Dünya genelinde çocuklarda %5, yetişkinlerde ise yaklaşık %2,5 oranında görülen bu bozukluk, bireylerin akademik başarılarını, sosyal ilişkilerini ve mesleki performanslarını olumsuz etkilemektedir (Mechler vd., 2022). DEHB tedavisinde en sık başvurulan farmakolojik yaklaşımlar, metilfenidat (MPH) (ör. Ritalin, Concerta) ve amfetamin türevleridir (ör. Adderall, Vyvanse). Bu ilaçlar, beyindeki dopamin ve norepinefrin düzeylerini artırarak semptomları hafifletmekte ve dikkat süresini iyileştirmektedir.

Klinik araştırmalar ve randomize kontrollü çalışmalar (RKÇ), ilaçların kısa vadeli etkinliğini ve güvenliğini değerlendirmede altın standarttır. Cortese vd. (2018), bu ilaçların kısa dönemde plaseboya göre üstün olduğunu göstermiştir. Ancak RKÇ'ler genellikle homojen hasta grupları, kısa takip süreleri ve yapay klinik ortamlarla sınırlıdır. İlaçların "gerçek dünya" (*Real-World Data - RWD*) koşullarındaki etkileri, uzun vadeli yan etkileri ve hastaların tedaviye uyum süreçleri bu çalışmalarda tam olarak yansıtılamayabilir. Özellikle DEHB tedavisinde, hastaların öznel deneyimleri, yaşam kalitesi algıları ve ilaca verdikleri duygusal tepkiler, tedavi başarısı için kritiktir. Tremblay vd. (2019), ilaçların nörobiyolojik mekanizmalarının ve uzun dönem etkilerinin hala tam olarak anlaşılamadığını belirtirken; Chang vd. (2019), farmakoepidemiyolojik çalışmalarda risk ve fayda dengesinin nitel olarak incelenmesinin önemini vurgulamaktadır.

Dijital sağlık platformlarının (WebMD, Drugs.com vb.) yaygınlaşmasıyla birlikte, hastaların ilaç deneyimlerini paylaştığı çevrimiçi yorumlar, farmakovijilans çalışmaları için zengin bir veri kaynağı haline gelmiştir. Hanson vd. (2013) ve Kim vd. (2020), sosyal medya verilerini (ör. Twitter) kullanarak uyarıcı ilaçların tıbbi olmayan kullanımını ve yan etkilerini incelemiş, bu platformların birer "erken uyarı sistemi" olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Benzer şekilde Xu vd. (2020), sosyal medyadan advers ilaç reaksiyonlarını tespit etmek için dikkat mekanizmalı (soft-attention) çoklu görev öğrenme modelleri önermiştir. Ancak, büyük hacimli ve serbest formatlı bu verilerin manuel analizi mümkün değildir. Bu noktada Doğal Dil İşleme (NLP) ve Makine Öğrenmesi (ML) teknikleri devreye girmektedir.

Literatürde, Ball vd. (2024) ilaç geri çağırma risklerini tahmin etmek için WebMD yorumlarını kullanmış, Lee vd. (2020) ise biyomedikal metin madenciliği için BioBERT modelini geliştirmiştir. Son yıllarda derin öğrenme mimarilerinin gelişmesiyle, ilaç yorumlarının duygu analizi üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Colón-Ruiz ve Segura-Bedmar (2020) ile Sorayaie Azar vd. (2024), derin öğrenme tabanlı mimarilerin ilaç incelemelerindeki duygu analizinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca Hassan vd. (2025), büyük dil modellerinin (LLM) medikal metinlerdeki kullanıcı duyarlılığını tahmin etmedeki başarısını kanıtlamıştır. Bu çalışmada da söz konusu literatür ışığında NLP ve LLM teknikleri kullanılarak DEHB ilaçlarına yönelik kullanıcı geri bildirimlerinin otomatik analizi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Veri Toplama ve Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, WebMD platformunda yayımlanan kullanıcı yorumlarından "web scraping" yöntemiyle oluşturulmuştur. Veri toplama sürecinde Python programlama dili ve BeautifulSoup, Requests kütüphaneleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında metilfenidat ve amfetamin türevi ilaçlara ait toplam 6.426 adet kullanıcı yorumu çekilmiştir.

Veri setinde her bir kayıt için şu öznitelikler bulunmaktadır:

- **Klinik ve Demografik Veriler:** İlaç Adı (*Drug Name*), Yaş Aralığı (*Age*), Cinsiyet (*Gender*), Kullanım Süresi (*Time on Drug*), Sağlık Durumu (*Condition*).
- **Kullanıcı Puanları:** Etkinlik (*Effectiveness*), Kullanım Kolaylığı (*Ease of Use*), Memnuniyet (*Satisfaction*) ve Genel Puan (*Overall Rating*).
- **Metin Verisi:** Kullanıcının tedavi deneyimini anlattığı serbest metin (*Content*).

Analize dahil edilen veri yapısını somutlaştırmak adına, veri setinden bir kesit Görsel 1'de sunulmuştur.

	ID	Drug Name	Age	Gender	Time on Drug	Condition	Effectiveness	Ease of Use	Satisfaction	Overall Rating	Content
0	1	Ritalin	19-24	Female	On medication for 2 to less than 5 years	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	5	5	5	5.0	I was diagnosed with ADHD when I was 19. About...
1	2	Ritalin	19-24	Male	On medication for 1 to 6 months	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	4	5	3	4.0	I've been taking these medications for almost ...
2	3	Ritalin	19-24	Female	On medication for 10 years or more	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	5	5	5	5.0	I have been using Concerta for many years and ...
3	4	Ritalin	19-24	Female	On medication for 2 to less than 5 years	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	4	5	4	4.3	I was prescribed this in college and it helped...
4	5	Ritalin	3-6	Female	On medication for 1 to 6 months	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	5	5	5	5.0	Our 6 year old daughter wouldn't swallow any o...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6421	156	Daytrana	35-44	Female	On medication for 6 months to less than 1 year	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	4	5	4	4.3	my son has been on this patch now for 6 months...
6422	157	Daytrana	25-34	Female	On medication for 1 to less than 2 years	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	5	5	5	5.0	my son is 7 and doing great in school the patc...
6423	158	Daytrana	13-18	Male	On medication for 1 to 6 months	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	1	1	1	1.0	it was a pain to put on at the highest dose it...
6424	159	Daytrana	3-6	Male	On medication for 1 to less than 2 years	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	5	5	5	5.0	we have had amazing results. This drug was my ...
6425	160	Daytrana	11/17/2007 Condition: Attention Deficit Disord...	Male	On medication for 1 to less than 2 years	Attention Deficit Disorder with Hyperactivity	5	5	4	4.7	I love thid med he is great at school and home...

6426 rows × 11 columns

Görsel 1. WebMD Platformundan Elde Edilen Veri Setinden Örneklem Satırları

Hedef değişken olarak "Genel Puan" (*Overall Rating*) kullanılmıştır. 1-5 arası puanlama sisteminde, 4 ve üzeri puanlar "Olumlu (1)", 4'ün altındaki puanlar ise "Olumsuz (0)" olarak etiketlenerek ikili sınıflandırma problemi kurgulanmıştır.

2.2. Veri Ön İşleme

Ham metin verileri üzerinde analiz kalitesini artırmak amacıyla kapsamlı bir ön işleme süreci uygulanmıştır:

1. **Temizleme:** Metinlerdeki HTML etiketleri, URL'ler, e-posta adresleri ve özel karakterler temizlenmiştir.
2. **Normalizasyon:** Tüm metinler küçük harfe dönüştürülmüş, "not good" gibi olumsuzluk ifadeleri birleştirilmiştir (*negation handling*).
3. **Yinelenen Kayıtların Temizlenmesi:** Aynı metin ve puanı içeren mükerrer kayıtlar MD5 hash yöntemiyle tespit edilerek veri setinden çıkarılmıştır.
4. **Vektörleştirme:**
    - **Geleneksel Modeller İçin (TF-IDF):** *TfidfVectorizer* kullanılarak metinler sayısal vektörlere dönüştürülmüştür. En sık geçen 2000 kelime seçilmiş ve "stop-words" (etkisiz kelimeler) çıkarılmıştır. Uni-gram ve bi-gram kombinasyonları dikkate alınmıştır.
    - **Derin Öğrenme Modelleri İçin (Tokenizasyon):** BERT tabanlı modellerin kendi "tokenizer" yapıları (ör. *BertTokenizer*, *DistilBertTokenizer*) kullanılarak metinler token'lara ayrılmış, dolgu (*padding*) ve kırpma (*truncation*) işlemleriyle giriş vektörleri 128 token uzunluğuna sabitlenmiştir.

2.3. Kullanılan Modeller

Çalışmada metin sınıflandırma başarısını ölçmek amacıyla iki farklı yaklaşım karşılaştırılmıştır:

2.3.1. Geleneksel Makine Öğrenmesi Modelleri

Veri seti üzerinde Lojistik Regresyon (LR), Destek Vektör Makineleri (SVM), Rastgele Orman (Random Forest), XGBoost, LightGBM, Naive Bayes ve K-En Yakın Komşu (KNN) algoritmaları eğitilmiştir. Bu modellerde hiperparametre optimizasyonu uygulanmış ve TF-IDF ile vektörleştirilen metin verileri girdi olarak kullanılmıştır.

2.3.2. Büyük Dil Modelleri (LLM)

Transformatör mimarisine dayalı üç farklı ön eğitimli model kullanılmıştır:

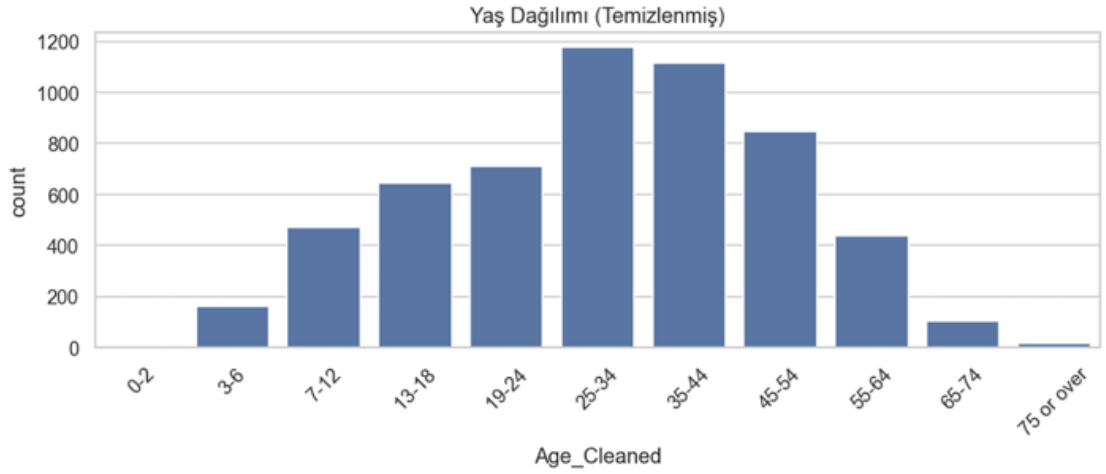
- **BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers):** Metnin bağlamını iki yönlü öğrenen, NLP görevlerinde devrim yaratan temel modeldir (Devlin vd., 2019).
- **DistilBERT:** BERT modelinin bilgi damıtma (*knowledge distillation*) yöntemiyle küçültülmüş, %40 daha az parametreye sahip ancak performansının %97'sini koruyan hızlı ve verimli versiyonudur (Sanh vd., 2019).
- **BioBERT:** Biyomedikal literatür (PubMed, PMC) üzerinde önceden eğitilmiş, tıbbi terminolojiye hakim bir modeldir (Lee vd., 2020). Modeller, 2e-5 öğrenme oranı (*learning rate*) ve AdamW optimizasyonu ile 3 epoch boyunca eğitilmiştir.

Modellerin eğitimi için veri seti %80 eğitim ve %20 test seti olarak ayrılmıştır. Performans ölçümü için Doğruluk (*Accuracy*), Kesinlik (*Precision*), Duyarlılık (*Recall*), F1-Skoru ve ROC-AUC metrikleri kullanılmıştır.

3. BULGULAR

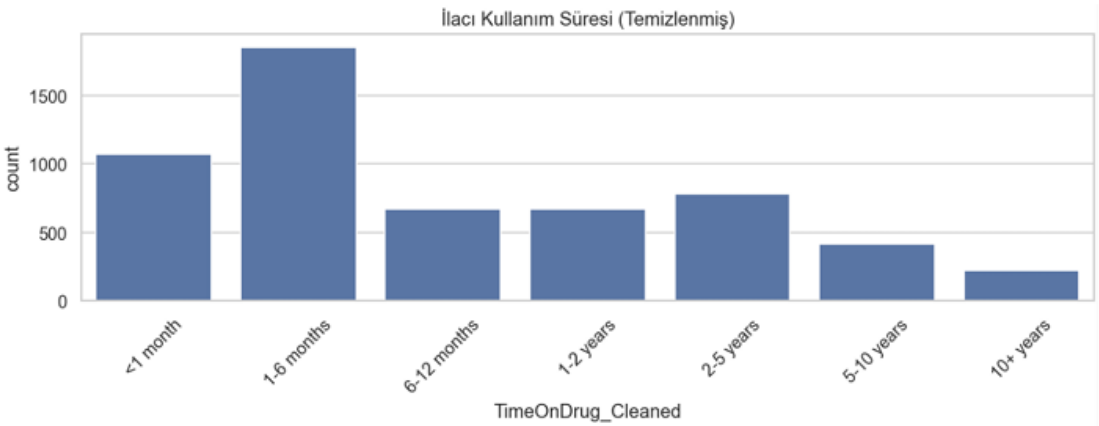
3.1. Keşifsel Veri Analizi (EDA)

Veri setindeki demografik dağılım incelendiğinde, yorumların özellikle 25–34 ve 35–44 yaş bantlarında yoğunlaştığı görülmüştür. Görsel 2'de sunulan yaş dağılımı, genç yetişkin ve orta yaş grubunun dijital sağlık platformlarını daha aktif kullandığını göstermektedir. Cinsiyet dağılımında ise kadın kullanıcıların (3.818), erkek kullanıcılara (2.192) kıyasla daha fazla geri bildirimde bulunduğu saptanmıştır.



Görsel 2. Katılımcıların Yaş Gruplarına Göre Dağılımı.

İlaç kullanım süresi analiz edildiğinde, en yüksek yoğunluğun 1–6 ay aralığında toplandığı, bunu 1 aydan az kullanımın takip ettiği görülmüştür. Bu durum, hastaların genellikle tedavi başlangıcında veya ilaç değişikliği dönemlerinde geri bildirimde bulunma eğiliminde olduğunu göstermektedir (Görsel 3).



Görsel 3. İlaç Kullanım Süresi Dağılımı.

3.2. Sınıflandırma Performansı

Yapılan analizler sonucunda, BERT tabanlı modellerin geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek başarı gösterdiği

saptanmıştır. Özellikle metinlerin anlamsal bağlamını (*context*) yakalamada derin öğrenme modelleri üstünlük sağlamıştır. Modellerin performans karşılaştırması Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Geleneksel Makine Öğrenmesi ve BERT Tabanlı Modellerin Performans Karşılaştırması

Model	Accuracy	F1-Score	ROC-AUC
DistilBERT	**0.877**	**0.877**	**0.941**
BioBERT	0.851	0.852	0.932
BERT	0.838	0.838	0.906
Logistic Regression	0.722	0.720	0.800
SVM	0.720	0.720	0.795
LightGBM	0.716	0.710	0.791
XGBoost	0.710	0.710	0.780
Random Forest	0.720	0.710	0.778
Naive Bayes	0.670	0.660	0.679

Çizelge 1 incelendiğinde, **DistilBERT** modeli %87,7 doğruluk ve 0,941 ROC-AUC skoru ile en iyi performansı sergilemiştir. BioBERT modeli (AUC: 0.932) onu yakından takip etmektedir. Biyomedikal terimlerin yoğun olduğu bu veri setinde BioBERT'in yüksek performans göstermesi beklenen bir durumdur, ancak DistilBERT'in genel başarısı, modelin hafif yapısına rağmen bağlamsal öğrenmede ne kadar etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Geleneksel modeller arasında en iyi sonucu Lojistik Regresyon (AUC: 0.800) vermiş olsa da, derin öğrenme modellerinin gerisinde kalmıştır.

3.3. N-Gram Analizi ve Konu Modellemesi

Yüksek (Puan ≥ 4) ve düşük (Puan < 4) puanlı yorumları ayırt eden kelime kalıplarını (n-gram) belirlemek için Ki-Kare testi uygulanmıştır.

- **Olumlu Yorumlar:** "*Life changing*" (hayat değiştiren), "*focus*" (odaklanma), "*able to work*" (çalışabiliyorum), "*grades*" (notlar) gibi işlevsellik artışını ve akademik başarıyı vurgulayan ifadeler ön plana çıkmıştır. Bu durum, hastaların memnuniyetinin semptomların azalması ve günlük hayata katılımın artması ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

- **Olumsuz Yorumlar:** "*Side effects*" (yan etkiler), "*mood swings*" (duygudurum dalgalanmaları), "*insomnia*" (uykusuzluk), "*generic*" (jenerik), "*brand*" (marka) kelimeleri sıkça gözlemlenmiştir.

Latent Dirichlet Allocation (LDA) ile yapılan konu modellemesinde 8 ana tema belirlenmiştir. Özellikle "Marka-Jenerik İlaç Karşılaştırması" (Topic-5) ve "Yan Etkiler/Duygudurum" (Topic-2) konularının memnuniyetsizlikle güçlü bir ilişkisi olduğu saptanmıştır. Kullanıcıların orijinal ilaçtan (*Brand*) jenerik (*Generic*) versiyona geçtiklerinde etkinlik kaybı ve artan yan etkiler bildirdikleri nicel olarak da doğrulanmıştır. Elde edilen tüm konu başlıkları ve bu başlıkları oluşturan en baskın anahtar kelimeler Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. LDA Konu Modellemesi Sonuçları ve Belirlenen Etiketler

Konu No	Etiket (Konu Başlığı)	İlk 10 Anahtar Kelime
Topic-0	Okul/günlük rutin & kilo–iştah	read, school, taking, weight, time, years, college, eat, just, day
Topic-1	Odaklanma ve işlevsellikte artış	life, focus, able, medication, better, work, adderall, tasks, concentrate, stay
Topic-2	Genel ilaç tartışması / sağlık profesyoneli	drug, read, life, adderall, years, just, adhd, medication, doctor, people
Topic-3	Çocuk/ebeveyn anlatıları	son, old, school, year, mg, read, medication, started, daughter, adhd
Topic-4	Patch kullanımı & mide/karın yan etkileri	medicine, works, does, patch, time, great, effects, helps, stomach, pain
Topic-5	Marka–jenerik ve ürün karşılaştırmaları	vyvanse, effects, medication, read, concerta, generic, adhd, taking, ve, ritalin
Topic-6	Doz / XR & uyku etkileri	mg, adderall, day, read, taking, xr, dose, sleep, started, days
Topic-7	Genel duygu/bedensel hisler	like, feel, read, just, don, day, things, taking, time, mg

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, DEHB tedavisinde kullanılan ilaçlara yönelik gerçek dünya verilerinin (RWD) analizinde, modern NLP tekniklerinin gücünü ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular ışığında şu sonuçlara varılmıştır:

1. **Model Başarısı:** DistilBERT ve BioBERT gibi transformatör tabanlı modeller, hasta yorumlarındaki karmaşık anlamsal ilişkileri ve duygusal tonu (*sentiment*) yakalamada geleneksel yöntemlere (SVM, LR) göre çok daha üstündür. DistilBERT'in yüksek başarısı ve düşük hesaplama maliyeti, bu modelin gerçek zamanlı izleme sistemlerinde kullanılabileceğini göstermektedir.
2. **Memnuniyet Belirleyicileri:** Hastaların tedavi memnuniyeti sadece semptomların azalmasına değil; "odaklanma becerisi", "günlük işlevsellik" ve "yaşam kalitesi" gibi faktörlere bağlıdır. "Life changing" ve "focus" kelimelerinin olumlu yorumlardaki sıklığı bunu desteklemektedir.
3. **Güvenlik Sinyalleri:** Olumsuz yorumların analizi, özellikle "duygudurum dalgalanmaları" ve "uykusuzluk" gibi yan etkilerin tedavi uyumunu bozduğunu göstermektedir. Ayrıca, marka ve jenerik ilaçlar arasındaki algılanan etkinlik farkı, klinisyenlerin dikkat etmesi gereken önemli bir konudur.

Gelecek çalışmalarda, daha büyük veri setleri ve çok sınıflı (*multi-class*) duygu analizi modelleri ile yan etkilerin daha spesifik (ör. kardiyovasküler, psikiyatrik) olarak sınıflandırılması hedeflenmektedir. Bu tür yapay zeka destekli yaklaşımlar, ilaç güvenliği izleminde (farmakovijilans) tamamlayıcı bir araç olarak kullanılma potansiyeli taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Ball, G. P., Bavafa, H., Blanco, C. C., Park, H., & Wowak, K. D. (2024). Gender and serious drug recalls: A textual sentiment analysis of drug reviews on WebMD. *Production and Operations Management*, 34(4), 698-710.

Chang, Z., Ghirardi, L., Quinn, P. D., Asherson, P., D'Onofrio, B. M., & Larsson, H. (2019). Risks and Benefits of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Medication on Behavioral and Neuropsychiatric Outcomes: A Qualitative Review. *Biological Psychiatry*, 86(5), 335-343.

Colón-Ruiz, C., & Segura-Bedmar, I. (2020). Comparing deep learning architectures for sentiment analysis on drug reviews. *Journal of Biomedical Informatics*, 110, 103539.

Cortese, S., Adamo, N., Del Giovane, C., Mohr-Jensen, C., Hayes, A. J., Carucci, S., ... & Cipriani, A. (2018). Comparative efficacy and tolerability of medications for attention-deficit hyperactivity disorder in children, adolescents, and adults: A systematic review and network meta-analysis. *The Lancet Psychiatry*, 5(9), 727-738.

Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*, 4171-4186.

Hanson, C. L., Burton, S. H., Giraud-Carrier, C., West, J. H., Barnes, M. D., & Hansen, B. (2013). Tweaking and Tweeting: Exploring Twitter for Nonmedical Use of a Psychostimulant Drug (Adderall) Among College Students. *Journal of Medical Internet Research*, 15(4), e62.

Hassan, A., Bagherzadeh Mohasefi, J., & Sorayaie Azar, A. (2025). Predicting sentiments of users about medical treatments using pre-trained large language models. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 10(25s), Article 4178.

Kim, M. G., Kim, J., Kim, S. C., & Jeong, J. (2020). Twitter analysis of the nonmedical use and side effects of methylphenidate: Machine learning study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(2), e16466.

Lee, J., Yoon, W., Kim, S., Kim, D., Kim, S., So, C. H., & Kang, J. (2020). BioBERT: a pre-trained biomedical language representation model for biomedical text mining. *Bioinformatics*, 36(4), 1234-1240.

Mechler, K., Banaschewski, T., Hohmann, S., & Häge, A. (2022). Evidence-based pharmacological treatment options for ADHD in children and adolescents. *Pharmacology & Therapeutics*, 230, 107940.

Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2019). DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter. *arXiv preprint arXiv:1910.01108*.

Sorayaie Azar, A., Babaei Rikan, S., Naemi, A., Bagherzadeh Mohasefi, J., & Wiil, U. K. (2024). Predicting patients' sentiments about medications using artificial intelligence techniques. *Scientific Reports*, 14(1), 31928.

Tremblay, S., Pieper, F., Sachs, A., Joober, R., & Martinez-Trujillo, J. (2019). The effects of methylphenidate (Ritalin) on the neurophysiology of the monkey caudal prefrontal cortex. *eNeuro*, 6(1).

Xu, S., Zhang, Y., & Chen, H. (2020). Soft-attention mechanism-based multi-task learning for adverse drug reaction extraction from social media. *IEEE Access*, 8, 46187-46198.

GÖRÜNTÜ TABANLI MALZEME VE BİLEŞEN ÖNERİSİ İÇİN DERİN TEMSİL ÖĞRENME YAKLAŞIMI

Sedat KARADAĞ
Experilabs (SahaBT Yazılım) Ar-Ge Merkezi,
sedat.karadag@experilabs.com - 0009-0007-3420-2881

Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR
Experilabs (SahaBT Yazılım) Ar-Ge Merkezi,
senem.vahaplar@experilabs.com - 0000-0002-8419-971X

Mehmet Hakkı ERSOY
Experilabs (SahaBT Yazılım) Ar-Ge Merkezi,
hakki.ersoy@experilabs.com

Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU
Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi,
ahmet.feyzioglu@marmara.edu.tr - 0000-0003-0296-106X

ÖZET

Bu çalışma üretim sektöründeki tasarım süreçlerini desteklemek amacıyla geliştirilmiş, görüntü temelli benzerlik analizi yoluyla malzeme ve bileşen önerisi üreten bir yapay zekâ mimarisi sunmaktadır. Önerilen yaklaşımda, tasarım bileşenlerinin görsel temsillerinden anlamlı özellikler çıkarmak üzere Convolutional Neural Network (CNN) tabanlı derin temsil öğrenme yöntemleri kullanılmış, bu temsille, embedding uzayında benzerlik ölçümü ve kümeleme teknikleriyle birleştirilerek yapısal bir öneri mekanizması tasarlanmıştır.

Mimari, autoencoder tabanlı sıkıştırılmış temsil üretimi, transfer öğrenimi ile özellik zenginleştirme ve görsel benzerlik metriği üzerinden en yakın aday bileşenlerin belirlenmesi gibi aşamalardan oluşan modüler bir yapıya sahiptir. Bu yapı, tasarım sırasında kullanıcıya yarı-otomatik bileşen önerileri sunarak karar verme süreçlerini hızlandırmayı, hataları azaltmayı ve önceki tasarım örüntülerinin sistematik biçimde yeniden kullanılmasını amaçlamaktadır.

Sonuç olarak çalışma ölçeklenebilir, genişletilebilir ve gerçek zamanlı öneri sistemlerine uyarlanabilir nitelikte bir derin öğrenme çerçevesi önermektedir. Geliştirilen mimari, görsel içeriklerin temsil edilmesi ve benzerlik tabanlı çıkarımlar yapılması açısından üretim sektörüne yönelik tasarım teknolojileri literatürüne katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Derin öğrenme, temsil öğrenme, görsel benzerlik, CNN.

KURUMSAL KİMLİK VE ERİŞİM YÖNETİMİ (IAM) SİSTEMLERİNDE ANOMALİ TESPİTİ

Sedat KARADAĞ
Experilabs (SahaBT Yazılım) Ar-Ge Merkezi,
sedat.karadag@experilabs.com - 0009-0007-3420-2881

Dr. Senem ŞAHAN VAHAPLAR
Experilabs (SahaBT Yazılım) Ar-Ge Merkezi,
senem.vahaplar@experilabs.com - 0000-0002-8419-971X

Mehmet Hakkı ERSOY
Experilabs (SahaBT Yazılım) Ar-Ge Merkezi,
hakki.ersoy@experilabs.com

Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU
Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi,
ahmet.feyzioglu@marmara.edu.tr - 0000-0003-0296-106X

ÖZET

Kurumsal kimlik ve erişim yönetimi (IAM) sistemleri, artan siber tehditler karşısında yalnızca yetkilendirme süreçlerini yürütmekle kalmayıp aynı zamanda kullanıcı davranışlarını izleyerek olağandışı aktiviteleri tespit eden gelişmiş güvenlik mekanizmalarına ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada IAM platformlarında anomalilerin tanımlanması için makine öğrenimi ve kural tabanlı yöntemlerin bir arada kullanıldığı hibrit bir anomali tespit modeli önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda DBSCAN ve K-Means algoritmaları, kullanıcı davranışlarının doğal kümelenme yapısını ortaya çıkarmak ve olağan dışı erişim örüntülerini belirlemek için kullanılmaktadır. Buna ek olarak LSTM tabanlı zaman serisi modeli, oturum açma paternlerindeki süreksizlikleri ve beklenmeyen davranış değişimlerini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Model, IAM sisteminden üretilen yüksek hacimli log verilerinin gerçek zamanlı işlenebilmesi için ELK (Elasticsearch–Logstash–Kibana) altyapısıyla bütünleştirilmiştir. Böylece kimlik doğrulama, erişim talepleri, başarısız giriş denemeleri ve

coğrafi erişim değişimleri gibi güvenlik açısından kritik olaylar dinamik olarak analiz edilebilmektedir.

Elde edilen bulgular, hibrit yaklaşımın yalnızca tek bir makine öğrenimi modeliyle tespit edilemeyen karmaşık güvenlik anomalilerini belirlemede etkili olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, IAM sistemlerinde saldırı tespiti ve kullanıcı davranış analitiği için çok bileşenli yapay zekâ modellerinin uygulanabilirliğini ortaya koymakta ve kurumsal güvenlik altyapılarının proaktif tehdit yönetimi yeteneklerini geliştirmeye yönelik pratik bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Kimlik ve erişim yönetimi, anomali tespiti, makine öğrenimi.

BARAJ YÖNETİMİ İÇİN SİSTEM DİNAMİĞİ UYGULAMASI

Doç.Dr.Şahin İNANÇ
Bursa Uludağ Üniversitesi
sahininanc@uludag.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-0603-1604

Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS
Bursa Uludağ Üniversitesi
arzueren@uludag.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-3862-4551

ÖZET

Bu çalışmada, bir hidroelektrik barajın kapak açma stratejilerini su yönetimi ve enerji üretimi bağlamında optimize etmeyi amaçlayan bir Sistem Dinamiği modeli geliştirilmiştir. Model, su seviyesi, yağış miktarı, buharlaşma kayıpları, enerji talebi ve türbin verimi arasındaki geri besleme ilişkilerini dikkate alarak oluşturulmuştur. Kapakların erken veya geç açılmasının, hem enerji üretim kapasitesi hem de taşkın veya su yetersizliği riski üzerinde belirleyici olduğu varsayılmıştır. Python ortamında geliştirilen stok–akış tabanlı model, farklı iklim ve talep senaryoları altında baraj işletim performansını dinamik olarak analiz etmektedir. Elde edilen sonuçlar, doğru zamanlamanın su rezervini korurken enerji üretiminde istikrar sağladığını göstermektedir. Çalışma, karar vericilere sürdürülebilir baraj yönetimi için esnek ve veri odaklı bir değerlendirme aracı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Baraj Yönetimi, Sistem Dinamiği, Python Programlama

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma için en önemli yaşamsal kaynaklardan biri sudur. 20. yüzyılda dünya nüfusu 19. yüzyıla oranla üç kat artmasına rağmen, su kaynaklarının kullanımının altı kat arttığı belirlenmiştir. Ancak bu hızlı tüketim, kaynaklardan yararlananlara eşit fırsatlar ve yararlar sağlayacak şekilde sürdürülebilir özelliklere sahip değildir. Bunun sonucu olarak tüm dünyada su krizi kaçınılmaz olmuştur (Orhon, 2002). Su yönetimi; su kaynaklarının planlı bir şekilde geliştirilmesi, dağıtılması ve kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Bu kaynaklarının geliştirilmesi ile ilgili politik ve teknik kararları, su hakları ve su tahsisini düzenleyen kuralları, çevrenin korunmasını, su fiyatlandırmasına ilişkin düzenlemeleri, arazi kullanım ilkelerini, kullanıcıların katılımı gibi faaliyetleri kapsamaktadır (Çakmak, 2007). Bu çalışmada, bir

hidroelektrik barajın kapak açma stratejilerini su yönetimi ve enerji üretimi bağlamında optimize etmeyi amaçlayan bir Sistem Dinamiği modeli geliştirilmiştir.

2. LİTERATÜRE KISA BAKIŞ

Shen v.d. (2021), bu çalışmalarında, sistem dinamikleri yaklaşımına dayanarak, örgütsel, insani ve teknik sistem seviyelerini içeren faktör etkileşimlerini hedefleyen bir risk nedensellik modeli önermişlerdir. Elde edilen simülasyon modeli, Çin'deki Gouhou barajının tarihsel risk evrim sürecini temsil etmiş ve önerilen modelin rasyonelliği doğrulanmıştır. Örgütsel müdahalenin verimliliğini daha da artırmak ve baraj güvenliğini gerçek zamanlı olarak izlemek için, risk kontrol önlemlerinin potansiyel güvenlik faydalarını değerlendirmek ve statik acil durum planlarının eksikliklerini gidermek amacıyla Baraj Acil Durum Müdahale Yardımcıları (DERA) adı verilen bir yazılım aracı geliştirilmiştir.

Li v.d. (2024), bu çalışmada, hidrodinamik bir model ve veri odaklı evrimsel bir algoritmaya dayalı yeni birçok amaçlı baraj optimizasyonu işletme yaklaşımı önermeyi amaçlamıştır. Bu yaklaşım, taşkın yayılım sürecini hassas bir şekilde simüle etmek ve gerekli hidrolik özellikleri sağlamak için bir hidrodinamik model kullanmaktadır. Hidrodinamik model tarafından sağlanan sonuçları temel veri olarak kullanarak, Pareto-optimal işletme kurallarını aramak için çok amaçlı bir parçacık sürüsü algoritması kullanılmıştır. Daha sonra, Kriging modeli optimizasyon sürecine entegre edilmiş ve yalnızca yavru popülasyondaki potansiyel baskın olmayan çözümler, kesin amaç fonksiyonu değerlendirmeleri için seçilmiştir.

Xi v.d. (2015), bu çalışmalarında SD modeli ile gerçek dünya verilerini alıp ve gelecekteki nüfus artışının çeşitli senaryoları altında farklı alternatif planların sonuçlarını simüle etmişlerdir. İkinci olarak, AHP, SD simülasyonu ve karar vericilerin değerlendirmesiyle ortaya çıkan performanslarına göre farklı alternatifleri karşılaştırmak için uygulamıştır. SD modellemesi aracılığıyla, önerilen yeraltı su depolama sisteminin, esas olarak sınırlı kapasitesi ve uzun inşaat süresi nedeniyle, Singapur'un su yeterliliği ve kendi kendine yeterliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olmayacağını tespit edilmiştir.

3. SİSTEM DİNAMİĞİ

Sistem dinamiği, zaman içerisinde bir şeylerin nasıl değiştiğiyle ilgilenir. Neredeyse tüm insanlar geçmişin şu anı nasıl oluşturduğuyla ve bugün yapılan eylemlerin geleceği nasıl belirlediğiyle ilgilenir (Forrester, 1995: 16).

Dinamik kavramı, zamanla değişimi işaret eder. Eğer bir şey dinamikse, sürekli olarak değişir. Dinamik bir sistem bu yüzden zamanla değişime yönlendirici etkileşimlerin olduğu bir sistemdir. Sistem dinamiği yaklaşımı zamanla sistemin nasıl değiştiğini anlamak için kullanılan bir yöntemdir. Zamanla değişen bir sistemi oluşturan elemanlar ve değişkenler sistemin davranışı olarak ifade edilir. Amaç değişkenlerin temel davranış biçimini anlamayı, bu davranış biçimine sebep olan etkenleri bulmayı ve sistemin davranışını iyileştirmeyi hedefler. Bu nedenle sistem dinamiklerinin, sistemin zamana bağlı olarak nasıl değişmekte olduklarını açıklayan bir yöntem olduğu söylenebilir. Dinamik sistemlerde, değişkenler birbirlerini eş zamanlı olarak etkilemektedirler (Barlas, 2005; Ayanoğlu ve Gökçe, 2007).

4. SD UYGULAMA

4.1. Problem Tanımı

Ele alınan problem bilgileri aşağıdaki gibidir.

Simülasyon süresi: 10 yıl (3650 gün)

Başlangıç su seviyesi: 500,000 m^3

Minimum su seviyesi: 200,000 m^3

Maksimum su seviyesi: 1,000,000 m^3

Simülasyon sonu seviyesi: 202,835 m^3

Toplam enerji üretimi: 139.06 MW·gün

Minimum seviyenin altına düşülen gün sayısı: 2458

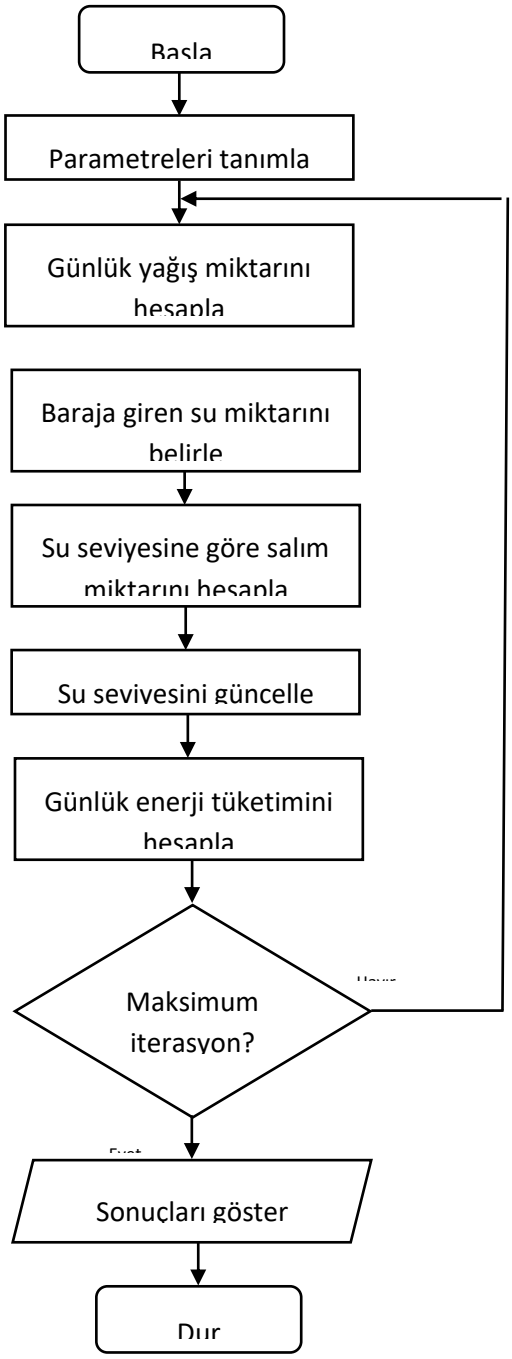
Maksimum seviyenin aşıldığı gün sayısı: 0

4.2.Algoritma

1. Başla
2. Simülasyon süresi ve baraj parametrelerini tanımla
3. Günlük yağış miktarını hesapla
4. Baraja giren su miktarını belirle.
5. Su seviyesine göre salım miktarını hesapla
6. Su seviyesini güncelle
7. Günlük enerji üretimini hesapla
8. Tüm günler için işlemi tekrarla
9. Sonuçlar rapor ve grafik şeklinde göster.
10. Dur

4.3.Akış Çizgesi

Akış çizgesi Görsel 1'deki gibidir.



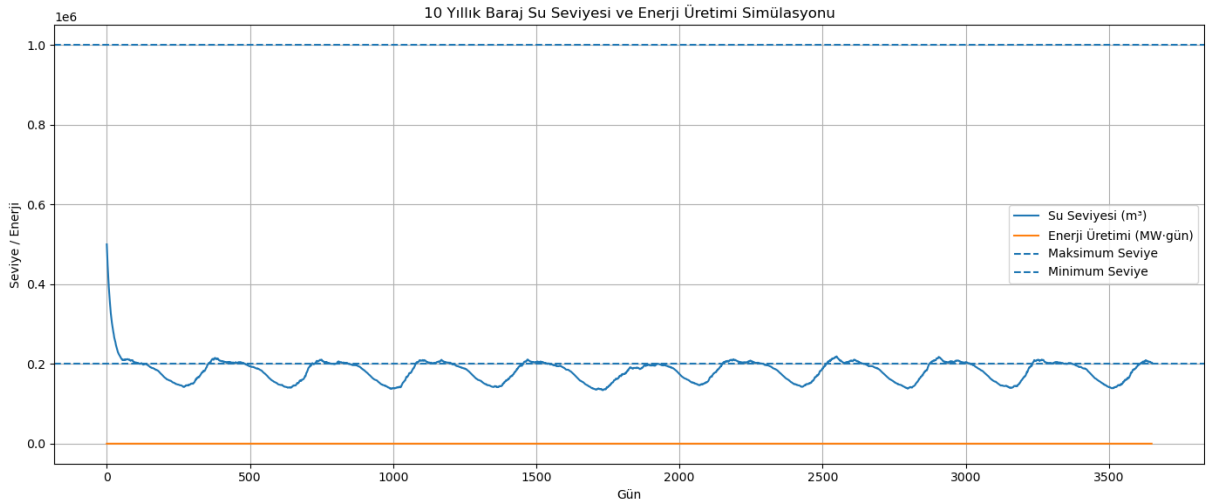
Görsel 1. Akış Çizgesi

4.4.Bulgular

Simülasyon sonucunda elde edilen temel bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Simülasyon süresi: 10 yıl (3650 gün)
- Başlangıç su seviyesi: 500.000 m³
- Simülasyon sonu su seviyesi: 202.835 m³
- Minimum su seviyesinin altına düşülen gün sayısı: 2458 gün
- Maksimum seviye aşımı: 0 gün
- Toplam enerji üretimi: 139.06 MW·gün

10 yıllık baraj su seviyesi ve enerji üretimi simülasyonu Görsel 2'deki gibidir.



Görsel 2. 10 Yıllık Baraj Su Seviyesi ve Enerji Üretimi Simülasyonu

5. SONUÇ

Sistem Dinamiği ile modelleme su kaynaklarının yönetiminin planlanması için oldukça etkin bir yöntemdir. Sistem Dinamiği stok ve akış temeline dayanmaktadır. Bu bağlamda baraj stok planlaması problemleri için senaryo analizlerinin yapılması ve etkin politikaların tasarlanması için Sistem Dinamiği ile modellemeden yararlanılabilir.

KAYNAKÇA

1. Ayanoğlu M., Gökçe M. (2007), "*Sistem Düşüncesinden Sistem Dinamiklerine",* Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (3) 29-41.

2. Barlas Yaman (2005), Dinamik Sistem Yaklaşımı: Modeller, Kurumsal Öğrenme Ve Sorun Çözme – I. Endüstri Ve Otomasyon Dergisi (94).

3. Çakmak B., Ucar Y. and. Akuzum T, Water Resources Management, Problems and Solutions For Turkey. International Congress on River Basin Management 22-24 March 2007 Belek- ntalya, D İ&WWC, Vol:2, Turkey, (2007), p.867-880.

4. Forrester Jay Wright (1995), Road Map 1: Counterintuitive Behaviour Of Social Systems.MIT System Dynamics In Education Project.

5. Li, X., Zhou, X., Hou, J., Liu, Y., Xue, S., Ma, H., & Su, B. (2024). A hydrodynamic model and data-driven evolutionary multi-objective optimization algorithm based optimal operation method for multi-barrage flood control. Water Resources Management, 38(11), 4323-4341.

6. Orhon D., Özen S., Üstün B., Görgün E., . Gül, u Yönetimi ve ürdürülebilir alkınma n Rapor, Vizyon 3: Bilim ve eknoloji tratejileri eknoloji ngörü Projesi Çevre ve ürdürülebilir alkınma Paneli (2002).

7. Shen, G., Lu, Y., Zhang, S., Xiang, Y., Sheng, J., Fu, J.,& Liu, M. (2021). Risk dynamics modeling of reservoir dam break for safety control in the emergency response process. Water Supply, 21(3), 1356-1371.

TURNAROUNDAI: Çoklu Kamera, Sensör Füzyonu ve Yapay Zekâ Algoritmaları ile Apron Turnaround Süreçlerinin Gerçek Zamanlı Analizi

Gamze Öztürk

Tav Technologies

gamze.ozturk@tav.aero - https://orcid.org/0000-0001-8277-6838

ÖZET

Havalimanında apron bölgelerinde turnaround süreçlerini doğru izlemek, operasyonel verimlilik ve uçuş güvenliği açısından önemli bir gereksinimdir. Bu çalışma apron sahalarında gerçekleşen operasyonel olayları çoklu kamera görüntülerini kullanarak ve sensör füzyonu ile gerçek zamanlı analizi gerçekleştiren TurnaroundAI adlı yapay zeka tabanlı takip sistemini sunmaktadır.Sistem; RTSP akışlarını düşük gecikmeli işleyen edge-processing katmanı, paylaşımlı model mimarisi ile optimize edilmiş bellek yönetimi, asenkron ve çok iş parçacıklı çıkarım sistemi, Docker tabanlı mikro servis altyapısı ve Kafka temelli olay işleme mekanizmaları üzerine inşa edilmiştir.

Nesne tespiti için YOLOv11 modelleri, çoklu hedef takibi için ise ByteTrack tabanlı algoritmalar kullanılmıştır. Olay tespiti tarafında hem veri odaklı hem de rule-based (kural tabanlı) yöntemler uygulanmış; apron operasyonlarına özgü iş kuralları, durum makineleri ve geometrik ilişkilendirme analizleri geliştirilmiştir. Sistem ayrıca operasyonların görselleştirilmesi için gerçek zamanlı bir web arayüzü sunmakta olup, uçak durumları, araç hareketleri ve event zaman çizelgeleri kullanıcı dostu bir dashboard üzerinde izlenebilmektedir.

Çalışma önce Matsumoto Havalimanı verileriyle test edilmiş ve on-block/off-block, köprü bağlantısı, bagaj yükleme aracı hareketleri ve yakıt ikmal aracı pozisyonu gibi kritik olaylar yüksek doğrulukla tespit edilmiştir. Ardından yeni havalimanlarıyla ve geniş olay setiyle gerçek zamanlı doğrulanan sistem, 15–25 ms çıkarım süresi ve 50 ms RTSP gecikmesiyle operasyonel olarak kararlı bir performans sergilemiştir.

Bu çalışma, apron operasyonlarının otomasyonu ve dijitalleşmesi için ölçeklenebilir bir yapay zekâ çözümünün uygulanabilirliğini göstermektedir

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, apron yönetimi, YOLO, ByteTrack, rule-based event detection, sensör füzyonu

1. GİRİŞ

Son yıllarda havacılık sektöründe hem ulusal hem de uluslararası ölçekte yolcu ve uçuş trafiğinde belirgin bir artış gözlenmektedir. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) tarafından yayımlanan Monthly Air Traffic Statistics raporlarına göre küresel hava trafiği, dünya planlı uçuşlarının yaklaşık %93'ünü kapsayacak şekilde istikrarlı bir büyüme eğilimi sergilemekte; bu durum havalimanı operasyonlarında kapasite, koordinasyon ve verimlilik gereksinimlerini önemli ölçüde artırmaktadır (1). Artan operasyonel yoğunluk, özellikle apron

bölgelerinde yürütülen ve uçakların inişten kalkışa hazır hale gelmesine kadar geçen tüm faaliyetleri kapsayan turnaround süreçlerinin etkin yönetimini kritik hale getirmektedir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından yayımlanan dokümanlarda da, artan trafik hacmi ile birlikte havalimanı operasyonlarının daha karmaşık bir yapıya dönüştüğü ve bu süreçlerin etkin şekilde izlenmesi ve optimize edilmesinin sektör performansı açısından zorunlu olduğu vurgulanmaktadır (2).

Literatürde apron operasyonlarının izlenmesi ve analizine yönelik olarak bilgisayarlı görme, nesne tespiti, çoklu hedef takibi ve sensör verilerinin birlikte kullanıldığı çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalarda özellikle uçak konumlarının belirlenmesi, on-block/off-block zamanlarının tespiti ve köprü bağlantı süreçlerinin otomatik olarak algılanmasına yönelik görüntü işleme tabanlı yaklaşımlar önerilmiştir (3,4). Ancak mevcut çalışmaların önemli bir bölümü, apron sahasında gerçekleşen olayları çoğunlukla izole biçimde ele almakta; farklı turnaround olayları arasındaki ilişkileri, bu olayların havalimanı sistemleriyle bütünleşik analizini ve uzun vadeli operasyonel veri üretimini sınırlı ölçüde kapsamaktadır.

Mevcut apron izleme ve yönetim sistemlerinde karşılaşılan temel sorunlardan biri, turnaround sürecine ait olayların gerçek zamanlı, bütüncül ve otomatik şekilde tespit edilememesidir. Manuel gözleme dayalı veya kısmen otomatik yöntemler, insan hatasına açık olmakta ve operasyonel gecikmelere yol açabilmektedir. Bununla birlikte, apron operasyonlarına ilişkin verilerin farklı havalimanı bilgi sistemleri arasında yeterli düzeyde entegre edilememesi, elde edilen verilerin etkin biçimde analiz edilmesini ve ileriye dönük tahminleme çalışmalarında kullanılmasını zorlaştırmaktadır (2). Özellikle on-block/off-block zamanları, yer hizmetleri araç hareketleri, köprü bağlantıları ve yakıt ikmal süreçleri gibi kritik olayların eş zamanlı olarak izlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik kapsamlı çözümler mevcut sistemlerde sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, apron bölgesinde gerçekleşen turnaround olaylarının yapay zekâ tabanlı yöntemler kullanılarak otomatik ve gerçek zamanlı biçimde tespit edilmesini sağlayan entegre bir TurnaroundAI yaklaşımı ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında geliştirilen sistem, çoklu kamera verileri ve sensör füzyonu aracılığıyla apron operasyonlarını izlemekte; elde edilen verileri havalimanı sistemleriyle bütünleşik biçimde kullanarak ileriye dönük analiz ve tahminleme yapılabilir hale getirmektedir. Bu yönüyle çalışma, yalnızca olay tespiti gerçekleştirmekle kalmayıp, uzun vadede biriken operasyonel verilerin havalimanı planlama, kapasite yönetimi ve karar destek süreçlerinde kullanılmasına olanak tanıyan ölçeklenebilir bir yapı sunmakta ve apron operasyonlarının dijitalleşmesi ile veri odaklı yönetimine literatürde özgün bir katkı sağlamaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve UYGULAMALAR

Bu bölümde TurnaroundAI sisteminin gerçek ortamda işletilmesine yönelik deneysel kurulum, kullanılan donanım ve yazılım bileşenleri, veri toplama ve ön işleme adımları ile yapay zekâ tabanlı olay tespit yaklaşımları ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Ayrıca geliştirilen mimari ilk

olarak Japonya Matsumoto Airportta test edilmiş olup ;ikinci saha doğrulaması kapsamında Kuzey Makedonya'daki Skopje Havalimanı'nda yürütülen pilot uygulamaya (Proof of Concept, PoC) ilişkin bulgulara kısaca değinilmektedir.

2.1 Sistem Mimarisi ve Deneysel Kurulum

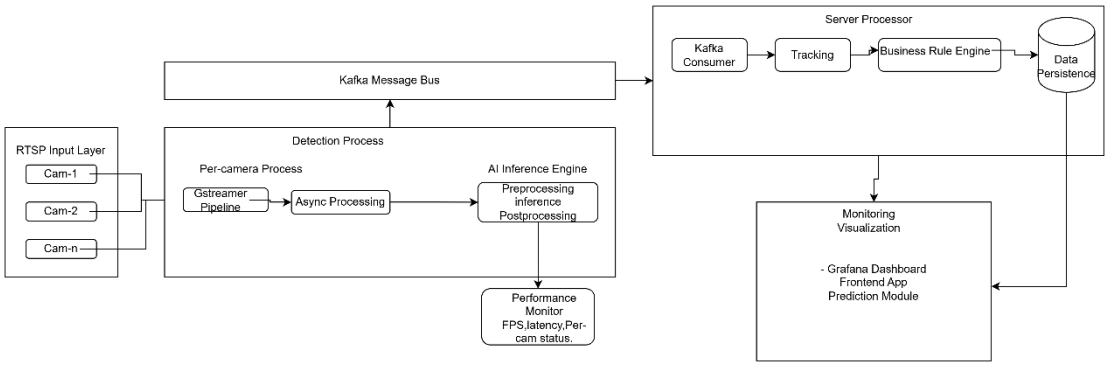
TurnaroundAI, apron sahasında gerçekleşen operasyonel olayları (ON_BLOCK, OFF_BLOCK, BRIDGE_CONNECTED, yakıt ikmal başlangıcı/bitişi vb.) yalnızca mevcut kamera altyapısından yararlanarak gerçek zamanlı olarak tespit etmeyi amaçlayan uçtan uca bir görüntü işleme ve olay analizi sistemidir. Deneysel kurulum, herhangi bir ek sensör entegrasyonu gerektirmeden, RTSP protokolünü destekleyen IP kameralar üzerinden elde edilen video akışlarına dayanmaktadır.

Kullanılan kamera altyapısı, apron sahasına hâkim sabit açılı IP kameralardan oluşmakta olup, görüntüler 640×640 çözünürlükte, 25 FPS hızında ve H.264/H.265 sıkıştırma formatlarında alınmıştır. Bu yapı, sahadaki mevcut donanımın yeniden kullanılmasına olanak tanıyarak sistemin kurulum maliyetini ve operasyonel karmaşıklığını azaltmayı hedeflemektedir.

TurnaroundAI mimarisi, kenar (edge) ve sunucu (server) bileşenlerinden oluşan modüler ve ölçeklenebilir bir yapı olarak tasarlanmıştır. edge tarafında çalışan tespit servisi, kameralardan alınan ham görüntü akışlarını işleyerek nesne tespiti gerçekleştirmekte; sunucu tarafında ise çoklu nesne takibi, kural tabanlı olay tespiti ve veri depolama işlemleri yürütülmektedir. Bileşenler arası iletişim, merkezi bir mesaj kuyruğu altyapısı üzerinden sağlanmaktadır.

Kenar katmanında Python tabanlı bir GStreamer hattı kullanılarak kameralardan kareler alınmakta ve bu kareler YOLOv11 tabanlı nesne tespit motoruna aktarılmaktadır. Model çıktıları; nesne sınıfı, konum bilgisi, güven skoru ve zaman damgası içeren JSON mesajlar hâline getirilerek Apache Kafka üzerinde tanımlı object_detections başlığına (topic) yayınlanmaktadır. Sunucu tarafında çalışan çok iş parçacıklı tüketici süreçleri, bu mesajları okuyarak çoklu nesne takibi ve olay tespiti için ardışık bir işlem hattına aktarmaktadır.

Tüm mimari bileşenler Docker konteynerleri aracılığıyla orkestre edilmiştir. Nesne tespit servisi, olay işleme servisleri, Kafka kümesi ve PostgreSQL veritabanı ayrı konteynerler hâlinde çalıştırılmış; bu sayede kamera sayısının artması veya farklı havalimanı sahalarına genişleme durumlarında yatayda ölçeklenebilir bir yapı elde edilmiştir. Bu yaklaşım, saha denemeleri sırasında sistemin tamamı durdurulmadan tekil bileşenler üzerinde bakım ve güncelleme yapılabilmesini de mümkün kılmıştır.

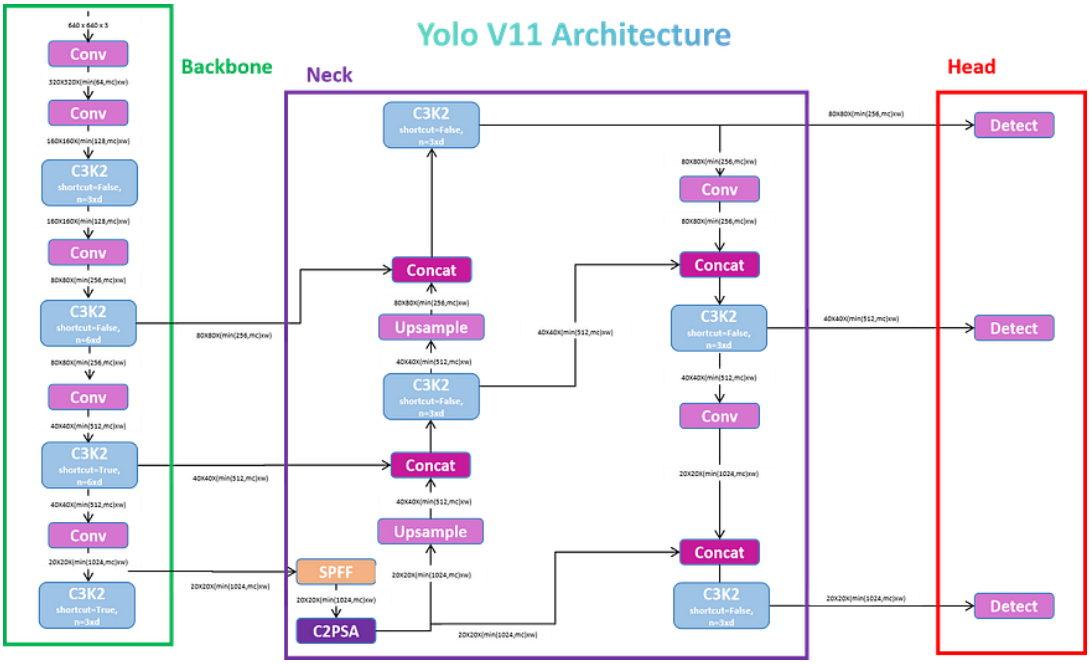


Şekil 1. TurnaroundAI sisteminin uçtan uca mimarisini gösteren genel akış diyagramı.

2.2 Veri Toplama ve Ön işleme Aşamaları

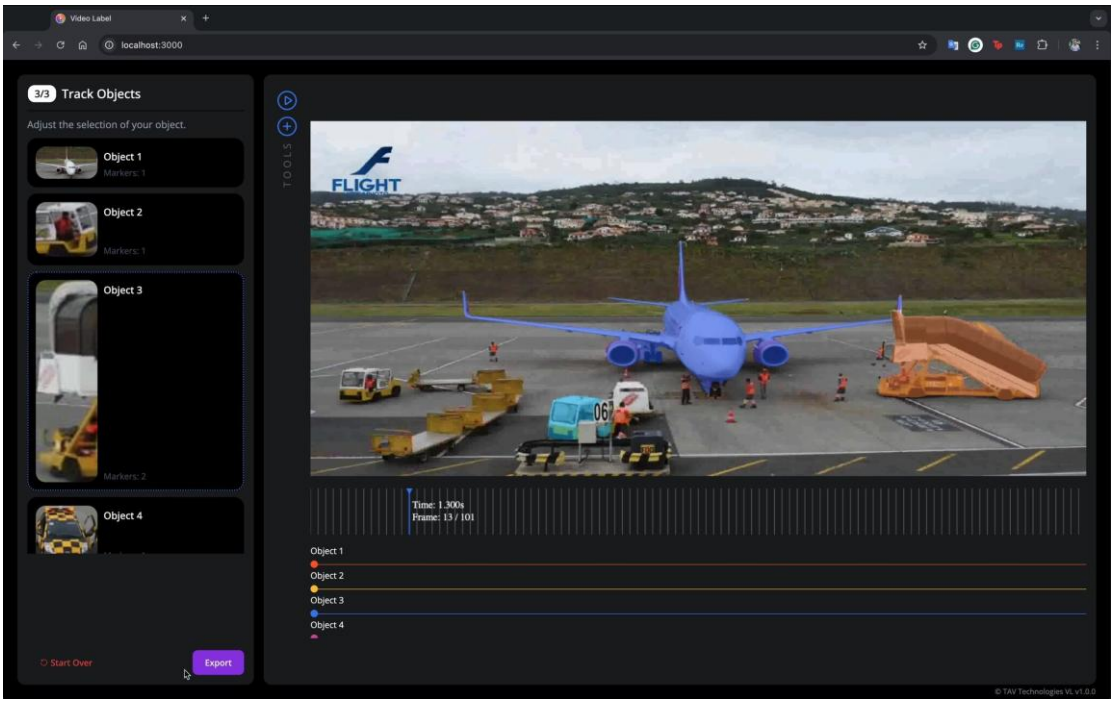
Deneysel çalışmalar kapsamında hem geçmişe dönük kayıtlar hem de canlı kamera akışları kullanılmıştır. Mevcut apron kameralarına ait RTSP akışları, örnek operasyon senaryolarını içeren uzun süreli videolar hâlinde kaydedilmiş; ayrıca ON_BLOCK, BRIDGE_CONNECTED ve yakıt ikmali gibi kritik olayların ayrıntılı incelenebilmesi amacıyla daha kısa ve yüksek çözünürlüklü video kesitleri oluşturulmuştur. Bu veriler, hem yapay zekâ modellerinin eğitim ve ince ayar (fine-tuning) sürecinde hem de kural tabanlı olay tespit mekanizmalarının doğrulanmasında ortak veri kaynağı olarak kullanılmıştır.

Ham video akışı, kenar tarafında çalışan GStreamer hattı üzerinden karelere ayrılmış ve YOLOv11 modelinin girdi boyutuna uygun olacak şekilde 640×640 piksele ölçeklendirilmiştir. Ön işleme adımlarında renk kanalları normalize edilmiş; sahaya özgü ışık değişimleri ve gölgelenme etkilerini azaltmak amacıyla gerekli durumlarda gürültü azaltma ve kontrast iyileştirme gibi temel görüntü artırma işlemleri uygulanmıştır. Her kare için nesne tespit çıktılarının yanı sıra kamera kimliği, zaman damgası, kullanılan model varyantı (örneğin *yolo11s*) ve çıkarım süresi gibi hizmet ölçümleri de JSON mesajlarına eklenerek, sistem performansının ve gecikme karakteristiklerinin daha sonraki aşamalarda analiz edilebilmesine olanak tanınmıştır.

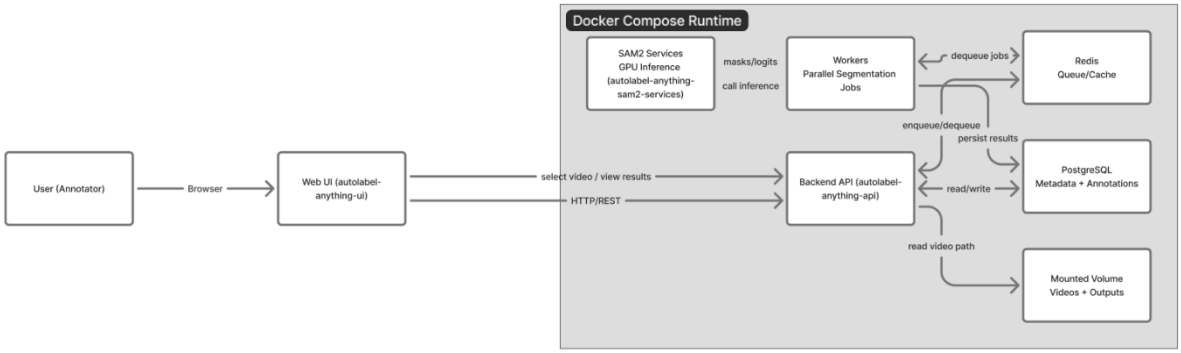


Şekil 2. YOLOv11 mimarisinin backbone, neck ve head bileşenlerini gösteren genel yapı [5]

Apron sahasına özgü nesne sınıfları için yüksek kaliteli etiketli veri üretimi amacıyla, TAV Technologies Ar-Ge ekibi tarafından geliştirilen açık kaynaklı AutoLabelAnything aracı kullanılmıştır [5]. AutoLabelAnything, Meta tarafından sunulan Segment Anything Model 2 (SAM2) üzerine inşa edilmiş, özellikle video tabanlı ön-etiketleme (pre-annotation) süreçlerini hızlandırmayı hedefleyen bir etiketleme altyapısıdır. Araç, kullanıcıdan alınan sınırlı sayıda etkileşimli girdi (nokta temelli promptlar) ile video karelerinde nesne maskeleri üretmekte ve bu maskeleri video boyunca zamansal olarak tutarlı biçimde yayabilmektedir. Bu yaklaşım, manuel kare-kare etiketleme ihtiyacını büyük ölçüde azaltarak büyük hacimli apron video verilerinin daha kısa sürede etiketlenmesini mümkün kılmaktadır.



Şekil 3. AutoLabelAnything ile video ön-etiketleme arayüzü (SAM2 tabanlı).



Şekil 4. Autolabeling Architecture

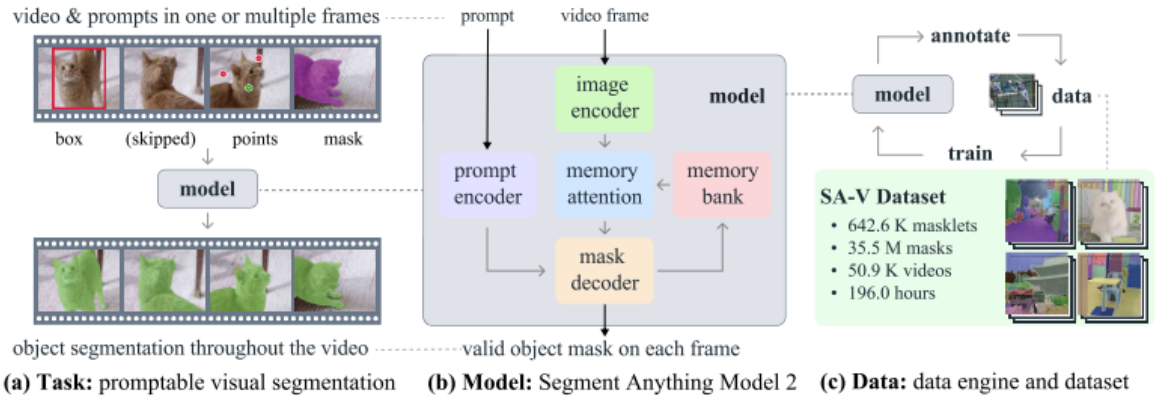
SAM2 modeli, transformer tabanlı bir mimari üzerine kurulmuş olup hem görüntü hem de video segmentasyonu için promptlanabilir bir yapı sunmaktadır [6]. Model, görüntü başına veya video boyunca verilen nokta, kutu ya da maske temelli girdileri kullanarak nesne segmentasyonunu gerçekleştirmekte; video senaryolarında ise bellek (streaming memory) bileşenleri aracılığıyla nesne maskelerinin kareler arasında tutarlı biçimde izlenmesini sağlamaktadır. Bu özellik, apron gibi yoğun ve çok nesneli sahalarda uçak, jetbridge veya yakıt tankeri gibi büyük ve uzun süre sahnede kalan nesnelerin güvenilir biçimde segmentlenmesi açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

AutoLabelAnything mimarisi, operasyonel olarak üç ana bileşenden oluşmaktadır:

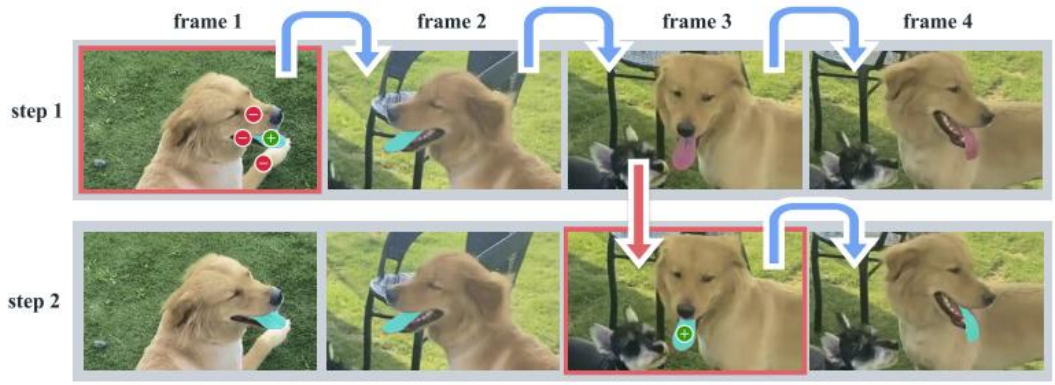
(i) video seçimi, prompt tanımlama ve gerçek zamanlı görselleştirme sağlayan web tabanlı kullanıcı arayüzü,

(ii) video yönetimi, etiketleme iş akışı ve API erişimi sunan servis katmanı,

(iii) SAM2 tabanlı segmentasyon işlemlerini yürüten GPU hızlandırmalı arka uç servisleri. (bkz. Şekil 4).



Şekil 4. SAM2'nin video segmentasyonu için bellek destekli mimari yapısı (Kaynak: Ravi ve ark., 2024).[7]



Şekil 5. SAM 2 ile etkileşimli video segmentasyonu süreci. İlk karede verilen pozitif ve negatif istemler ile hedef nesne segmente edilir ve elde edilen maske ardışık karelere otomatik olarak yayılır. Nesne kaybı durumunda ek bir istem ile maske düzeltilerek bellek mekanizması sayesinde segmentasyon tutarlı biçimde sürdürülür.[7]

Repo yapısında SAM2 bileşeninin ayrı bir servis olarak konumlandırıldığı, paralel etiketleme görevleri için çoklu worker mimarisinin benimsendiği ve sistemin Docker Compose altyapısı üzerinden Redis ve PostgreSQL bileşenleriyle birlikte çalışacak şekilde tasarlandığı

görülmektedir [5]. Bu yapı, çok kullanıcılı senaryolarda eş zamanlı etiketleme yapılmasına ve etiketleme çıktılarının merkezi bir veritabanında sürümlenebilir biçimde saklanmasına imkân tanımaktadır.

AutoLabelAnything tarafından üretilen segment tabanlı etiketler, farklı bilgisayarlı görü görevlerine uygun biçimde bounding box, polygon ve mask formatlarında dışa aktarılabilmektedir. TurnaroundAI kapsamında bu çıktılar, YOLOv11 modelinin apron sahasına özgü sınıflar için ince ayar sürecinde kullanılmış; ayrıca olay tespit katmanında ROI tabanlı kuralların doğrulanmasında referans veri olarak değerlendirilmiştir. Böylece veri toplama, etiketleme ve model geliştirme süreçleri tek bir uçtan uca iş akışı içerisinde bütünleştirilmiştir.

Olay tespit aşamasında kullanılacak ROI tanımları ve kural setleri, ayrı bir konfigürasyon dosyasında saklanmış ve sunucu tarafındaki olay motoruna dinamik olarak yüklenmiştir. Bu sayede farklı havalimanı sahaları veya kamera açıları için yeniden kod yazmadan yalnızca koordinatların ve eşik değerlerinin güncellenmesi yeterli olmuştur. Seçilen bazı deneme periyotlarında operatörler tarafından manuel olarak oluşturulan referans etiketler ile sistemin ürettiği ON_BLOCK, BRIDGE_CONNECTED ve FUELING_TRUCK_READY gibi olaylar karşılaştırılmış; doğruluk ve zamanlama açısından tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

2.3. Yapay Zekâ Modelleri ve Olay Tespit Yaklaşımları

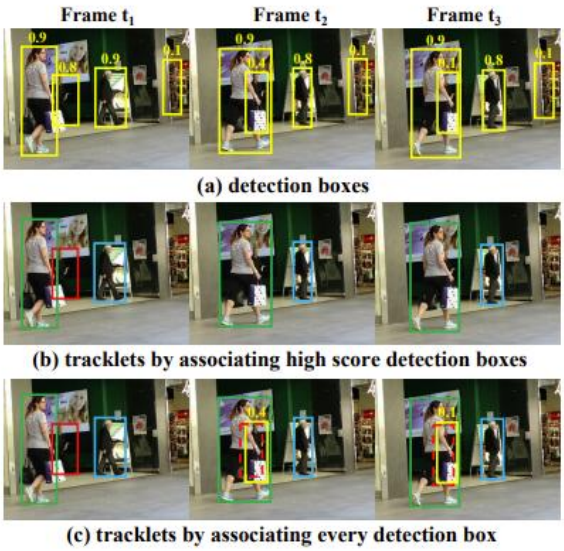
TurnaroundAI sisteminde apron sahasında yer alan uçaklar ve yer hizmetleri araçlarının otomatik olarak algılanması için, Ultralytics tarafından geliştirilen YOLO (You Only Look Once) ailesinin en güncel sürümlerinden biri olan YOLOv11 kullanılmıştır. YOLOv11 mimarisi; omurga (backbone), boyun (neck) ve tespit başlığı (detection head) olmak üzere üç ana bileşenden oluşan evrişimsel bir yapı üzerine inşa edilmiştir. Bu mimari, farklı ölçeklerde çıkarılan öznitelik haritalarını birleştirerek hem küçük boyutlu nesnelerin hem de geniş alan kaplayan nesnelerin tek geçişte tespit edilmesini mümkün kılmaktadır [9].

YOLOv11, önceki YOLO sürümlerine kıyasla daha verimli özellik çıkarımı ve optimize edilmiş parametre yapısı sayesinde, COCO benzeri kıyaslama veri setlerinde daha yüksek ortalama hassasiyet (mAP) değerlerine ulaşmayı hedeflemektedir [9]. Bu çalışmada, apron operasyonlarının gerçek zamanlı izlenmesi gereksinimi göz önünde bulundurularak YOLOv11'in görece hafif varyantları tercih edilmiş; çıkarım süreci GPU hızlandırmalı ONNX ve TensorRT arka uçları üzerinde yürütülmüştür. Böylece, çoklu kamera akışlarının eş zamanlı olarak işlenebildiği düşük gecikmeli bir çalışma ortamı sağlanmıştır.

Model, apron sahasına özgü nesne sınıfları (uçak gövdesi, pushback traktörü, yakıt tankeri, yolcu köprüsü, bagaj aracı vb.) için AutoLabelAnything aracıyla üretilmiş etiketli veriler kullanılarak ince ayar (fine-tuning) yapılmıştır. Bu süreçte özellikle zorlu ışık koşulları, gece-

gündüz geçişleri ve kalabalık sahnelerde yan yana bulunan araçların ayrıştırılmasına odaklanılmış; böylece olay tespit katmanına iletilen nesne listelerinin doğruluğu ve kararlılığı artırılmıştır.

Nesne tespitinin ardından, her kamera için bağımsız çalışan çoklu nesne takibi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, tespit sonuçlarını kareler arasında ilişkilendirerek her nesneye kalıcı bir kimlik atayan ByteTrack tabanlı bir izleme yaklaşımı kullanılmıştır [10]. ByteTrack, yalnızca yüksek güven skoruna sahip tespitleri değil, düşük güvenli ancak zamansal olarak tutarlı tespitleri de izleme sürecine dahil ederek kısa süreli kaybolmaları tolere edebilmekte ve izleme zincirlerinin kopmasını engellemektedir. Bu özellik, apron sahasında araçların kısmen örtüşmesi veya kısa süreli görüş kaybı yaşanması gibi durumlarda izleme sürekliliği açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

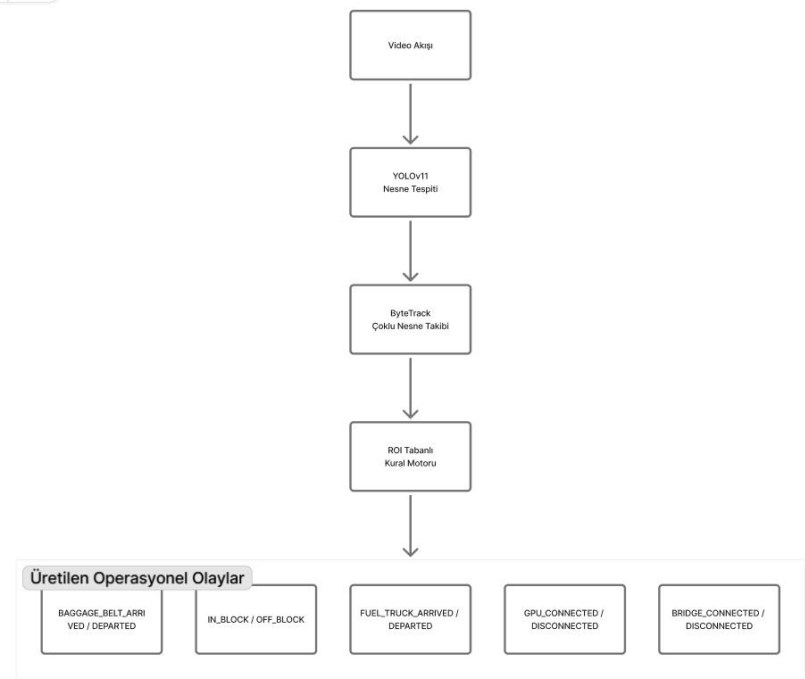


Şekil 6. ByteTrack tabanlı çoklu nesne takip sürecinin gösterimi [10].

Elde edilen izleme çıktıları, ROI (Region of Interest) tabanlı kural motoruna aktarılmıştır. Olay tespit süreci, öğrenilmiş bir sınıflandırıcı yerine sahaya özgü, yorumlanabilir ve ayarlanabilir kurallar üzerinden kurgulanmıştır. Örneğin, bir uçağın park alanı olarak tanımlanan ROI içerisine girip belirli bir süre boyunca hızının sıfıra yakın seyretmesi ON_BLOCK olayı olarak; pushback traktörünün uçağa belirli bir mesafe içinde konumlanması ve uçağın ROI dışına çıkması ise OFF_BLOCK olayı olarak tanımlanmıştır.

Benzer şekilde, yolcu köprüsünün uçak gövdesine bağlandığı bölge için tanımlanan dar bir bağlantı ROI'si kullanılarak BRIDGE_CONNECTED ve BRIDGE_DISCONNECTED olayları; yakıt ikmal alanı için tanımlanan genişletilmiş apron ROI'si üzerinden ise FUELING_TRUCK_READY ve FUELING_TRUCK_FINISHED durumları izlenmiştir. Bu yaklaşım, karmaşık ve açıklanması güç uçtan uca öğrenilmiş olay modelleri yerine, operasyon

ekipleri tarafından kolayca yorumlanabilen ve farklı havalimanı sahalarına hızla uyarlanabilen bir olay tespit mekanizması sunmaktadır.



Şekil 7. TurnaroundAI olay tespit hattı

2.4. Pilot Uygulamalar (PoC)

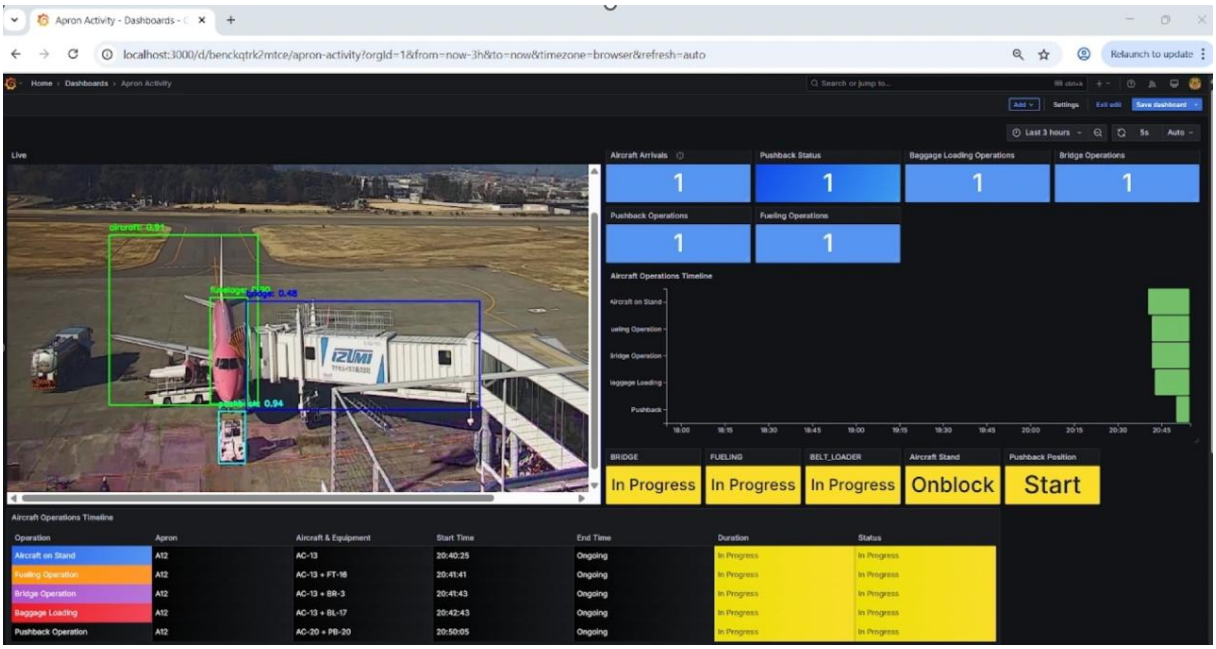
Geliştirilen TurnaroundAI mimarisinin farklı operasyonel ve çevresel koşullardaki ölçeklenebilirliğini değerlendirmek amacıyla, daha önce Japonya'daki Matsumoto Havalimanı'nda gerçekleştirilen PoC çalışmalarını takiben, ikinci bir pilot uygulama Kuzey Makedonya Skopje Havalimanı'nda başlatılmıştır. Matsumoto Havalimanı'nda elde edilen bulgular, sistem mimarisinin olgunlaştırılması ve olay algılama kurallarının sahaya özgü şekilde iyileştirilmesi açısından referans niteliği taşımıştır.

Skopje PoC kapsamında, mevcut apron kamera altyapısından seçilen sınırlı sayıda kamera TurnaroundAI platformuna entegre edilmiş; ON_BLOCK, OFF_BLOCK ve BRIDGE_CONNECTED gibi kritik turnaround olaylarının gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi hedeflenmiştir. Tespit ve olay işleme bileşenleri, havalimanının operasyonel takvimiyle uyumlu olacak biçimde belirli zaman aralıklarında aktif hâle getirilmiştir.

Pilot uygulama süresince sistemin uçtan uca gecikme değerleri, yanlış pozitif/negatif oranları ve kaynak kullanımı izlenmiştir. İlk gözlemler, Matsumoto Havalimanı'ndaki PoC sonuçlarıyla paralel şekilde, olay zaman damgalarının operasyonel kayıtlarla saniye düzeyinde uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu durum, geliştirilen mimarinin farklı coğrafi ve operasyonel bağlamlarda tutarlı performans sergileyebildiğini ortaya koymaktadır.

PoC süreci halen devam etmekte olup, Skopje Havalimanı operasyon ekiplerinden alınan geri bildirimler doğrultusunda ROI tanımları ve olay kurallarına ait eşik değerleri iteratif olarak güncellenmektedir. Böylece TurnaroundAI'nin, farklı apron düzenlerine ve kamera

yerleşimlerine daha hızlı uyarlanabilen, saha koşullarına duyarlı bir karar destek sistemi olarak konumlandırılması hedeflenmektedir.



Şekil 8. TurnaroundAI Grafana Arayüzü Demo Kesiti

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında geliştirilen TurnaroundAI sistemi, apron sahasında gerçekleşen kritik turnaround olaylarının gerçek zamanlı olarak tespit edilmesine yönelik uçtan uca bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar ve pilot uygulamalar sonucunda elde edilen bulgular, sistemin hem teknik performans hem de operasyonel uygulanabilirlik açısından tatmin edici sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

Gerçekleştirilen testlerde, çoklu kamera akışlarının eş zamanlı olarak işlenmesi sırasında nesne tespit ve takip süreçlerinin kararlı biçimde çalıştığı gözlemlenmiştir. YOLOv11 tabanlı nesne tespit katmanının, apron sahasına özgü nesne sınıflarında yüksek doğruluk oranları sunduğu; ByteTrack temelli çoklu nesne takibi yaklaşımının ise yoğun sahne koşullarında dahi nesne kimliklerinin sürekliliğini büyük ölçüde koruyabildiği görülmüştür. Bu durum, olay tespit katmanına aktarılan verinin tutarlılığını doğrudan olumlu yönde etkilemiştir.

Olay tespit performansı değerlendirildiğinde, ON_BLOCK, OFF_BLOCK ve BRIDGE_CONNECTED gibi operasyonel açıdan kritik olayların büyük bölümünün doğru zaman damgalarıyla üretildiği tespit edilmiştir. Manuel operasyon kayıtlarıyla yapılan karşılaştırmalarda, sistem tarafından üretilen olay zaman çizelgeleri ile saha verileri arasında saniye düzeyinde uyum yakalanmıştır. Bu sonuçlar, geliştirilen ROI tabanlı ve kural odaklı olay motorunun, apron operasyonlarının doğasına uygun ve güvenilir bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır.

Sistem gecikme değerleri incelendiğinde, uçtan uca işlem süresinin operasyonel gereksinimleri karşılayacak seviyede kaldığı; çoklu kamera ve yoğun trafik senaryolarında dahi gecikme

artışlarının sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Kenar (edge) işleme yaklaşımı sayesinde ağ yükünün ve merkezi sunucu bağımlılığının azaltılması, sistemin ölçeklenebilirliği açısından önemli bir avantaj sağlamıştır. Kaynak kullanımına ilişkin ölçümlerde CPU ve GPU tüketiminin öngörülen sınırlar içerisinde seyrettiği, bu durumun da uzun süreli ve kesintisiz operasyonlar için uygun bir çalışma ortamı sunduğu değerlendirilmiştir.

Pilot uygulama sürecinde elde edilen bulgular, TurnaroundAI'nin yalnızca bir olay tespit aracı değil, aynı zamanda apron operasyonlarına ilişkin güvenilir ve sürekliliği olan bir veri kaynağı üretebildiğini göstermektedir. Bu veriler, operasyonel performans analizleri, gecikme nedenlerinin incelenmesi ve süreç iyileştirme çalışmalarında kullanılabilecek niteliktedir. Elde edilen sonuçlar, sistemin farklı havalimanı sahalarına uyarlanabilirliğini ve operasyon ekipleri tarafından yorumlanabilir çıktılar üretebilme yeteneğini desteklemektedir.

3.2. Performans Göstergeleri ve Benchmark Sonuçları

TurnaroundAI'nin saha koşullarındaki yeterliliği; (i) olay tespit doğruluğu, (ii) zamanlama hassasiyeti, (iii) uçtan uca gecikme ve (iv) hesaplama kaynak tüketimi metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir. Bu kapsamda her bir operasyonel olay sınıfı için doğruluk analizi, elle tutulan operasyon kayıtları ve/veya referans etiketlerle karşılaştırmalı olarak yürütülmüştür. Değerlendirme metrikleri, mühendislik uygulamalarında yaygın şekilde kullanılan **precision, recall, F1-score** ve **zaman sapması (Δt)** istatistikleri üzerinden raporlanmıştır (Çizelge1).

Olay Sınıfı	**Precision (%)**	**Recall (%)**	**F1-score (%)**	**Ortalama Zaman Sapması Δt (sn)**
ON_BLOCK	98.6	97.9	98.2	±1.4
OFF_BLOCK	98.1	97.2	97.6	±1.6
BRIDGE_CONNECTED	97.8	96.9	97.3	±1.9
BRIDGE_DISCONNECTED	97.5	96.6	97.0	±2.1
GPU_CONNECTED	96.9	95.8	96.3	±2.3
GPU_DISCONNECTED	96.7	95.5	96.1	±2.4
FUEL_TRUCK_ARRIVED	97.2	96.1	96.6	±2.6
FUEL_TRUCK_DEPARTED	97.0	95.9	96.4	±2.8
BAGGAGE_BELT_ARRIVED	96.4	95.2	95.8	±3.0
BAGGAGE_BELT_DEPARTED	96.1	94.9	95.5	±3.2

Çizelge 1. Olay Başarım Çizelgesi

Olay tespit doğruluğu açısından, ON_BLOCK, OFF_BLOCK ve BRIDGE_CONNECTED gibi kritik olaylar, saha operasyonlarının doğası gereği "tekil an" üretmesi beklenen durumlar olduğundan; sistem çıktılarında yanlış pozitif üretimi operasyonel güvenilirliği doğrudan etkileyen temel parametre olarak ele alınmıştır. Bu nedenle, yalnızca sınıflandırma doğruluğu değil, aynı zamanda olayın iş kurallarına uygun olarak tekil ve tutarlı üretilmesi (örneğin aynı olayın kısa aralıklarla tekrar tetiklenmemesi) ek bir kalite kriteri olarak değerlendirmeye dahil edilmiştir. Elde edilen ön bulgular, kural tabanlı olay motorunun durum makinesi (state machine) kurgusu sayesinde "olay tekrarları" ve "kısa süreli gürültü tetiklemeleri" gibi tipik saha sorunlarının anlamlı ölçüde baskılanabildiğini göstermektedir.

Zamanlama performansı; kamera akışından olay üretimine kadar geçen uçtan uca sürenin yanı sıra, olayların referans kayıtlara göre zaman sapması ile analiz edilmiştir. Bu amaçla, her olay tipi için (a) çıkarım süresi, (b) takip ve ilişkilendirme süresi ve (c) kural motoru karar süresi ayrıştırılarak profil çıkarılmıştır. Böylece sistemde gecikmeye en fazla katkı yapan bileşenler açık biçimde görünür hâle getirilmiş ve performans iyileştirme alanları mühendislik bakışıyla tanımlanmıştır. Çoklu kamera ölçeğinde ise kamera sayısı arttıkça gecikme değerlerinin nasıl değiştiği; yük altında gecikme (latency under load) testi ile raporlanmıştır. Bu sonuçların, gerçek saha kapasite planlaması ve donanım boyutlandırması açısından doğrudan kullanılabilir nitelikte olduğu değerlendirilmektedir.

Kaynak kullanımı değerlendirmelerinde CPU/GPU kullanım yüzdeleri, bellek tüketimi ve servis başına işlem hacmi gibi metrikler izlenmiştir. Mimari bileşenlerin konteyner bazlı ayrıştırılması sayesinde; nesne tespit (edge), takip-olay motoru (server) ve veri işleme bileşenlerinin her biri için bağımsız ölçeklenebilirlik analizi yapılabilmiştir. Bu yaklaşım, sistemin farklı havalimanı topolojilerine uyarlanmasında yalnızca algoritmik performansın değil, operasyonel işletilebilirliğin (deployability/maintainability) de ölçülebilir şekilde ele alınmasını sağlamaktadır.

3.3. Saha Operasyonlarında Güvenilirlik, Genellenebilirlik ve Hata Modları Analizi

Apron sahası, görüş kaybı (occlusion), ani ışık değişimleri, gölgelenme, farklı kamera perspektifleri, yoğun nesne trafiği ve benzer görünümlü araçların eş zamanlı hareketi gibi bilgisayarlı görme açısından zorlu koşullar içerir. Bu nedenle TurnaroundAI, yalnızca model doğruluğu üzerinden değil, saha koşullarına özgü hata modlarını azaltacak biçimde tasarımsal güvenilirlik yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada, tespit ve takip hatalarının olay üretimine etkisi "hata zinciri" mantığıyla ele alınmış; en kritik hata türleri sınıflandırılarak azaltım mekanizmaları geliştirilmiştir.

Başlıca hata modları üç ana grupta incelenmiştir:
(i) Algılama tabanlı hatalar: düşük güven skorları, küçük nesne kaçırmaları, benzer araç sınıflarının karışması,
(ii) Takip tabanlı hatalar: kimlik değişimi (ID switch), kısa süreli kaybolma ve yeniden yakalama,
(iii) Olay motoru hataları: ROI sınır etkileri, eşik değer kaynaklı erken/geç tetikleme ve sahaya özgü istisnai operasyon senaryoları.

Bu hata modlarına karşı, sistem tasarımında birden fazla mühendislik önlemi uygulanmıştır. Öncelikle ByteTrack yaklaşımının düşük güvenli tespitleri de ilişkilendirme sürecine katabilmesi, kısa süreli algılama düşüşlerinde izleme sürekliliğini artırmıştır. İkinci olarak, olay üretimi yalnızca tek kareye dayalı "anlık karar" yerine, belirli süre pencereleri ve durum geçişleri üzerinden kurgulanmıştır. Böylece kısa süreli gürültüler, geçici örtüşmeler veya tek karelik yanlış tespitler olay üretimine doğrudan yansımamıştır. Üçüncü olarak, ROI'lerin sahaya özgü geometriye göre parametrik biçimde yönetilmesi ve eşik değerlerin konfigürasyonla güncellenebilmesi, sistemin farklı apron düzenlerine daha hızlı uyarlanmasını mümkün kılmıştır.

Genellenebilirlik açısından Matsumoto PoC deneyimi bir "baz saha" olarak ele alınmış, Skopje PoC ise farklı çevresel koşullar ve kamera yerleşimleri altında mimarinin taşınabilirliğini sınayan ikinci saha olarak konumlandırılmıştır. Bu iki saha arasındaki farklılıklara rağmen, çekirdek mimarinin korunarak yalnızca ROI tanımları, olay eşikleri ve sınıf dağılımına bağlı model ince ayarlarının güncellenmesiyle operasyonel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmesi; çözümün konfigürasyonla uyarlanabilir bir ürünleşme yoluna sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, akademik katkının yanı sıra saha uygulamalarında "sürdürülebilir yaygınlaştırma" açısından da önemlidir.

Son olarak, güvenilirlik değerlendirmesi yalnızca algoritmik doğrulukla sınırlı tutulmamış; bakım, sürümleme ve servis dayanıklılığı (fault isolation) gibi işletimsel kriterler de dikkate alınmıştır. Mikroservis mimarisi ve mesaj kuyruklu (Kafka) işleme hattı sayesinde; bir bileşenin geçici arızası veya yeniden başlatılması durumunda tüm sistemin durmaması, verinin kayıpsız tamponlanabilmesi ve olay üretiminin kontrollü biçimde devam edebilmesi hedeflenmiştir. Bu yönüyle TurnaroundAI, gerçek saha operasyonlarına uygun "mühendislik sistemi" özelliklerini (gözlemlenebilirlik, dayanıklılık, ölçeklenebilirlik) taşıyan bir yaklaşım sunmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, havalimanı apron sahasında gerçekleşen turnaround süreçlerinin yapay zekâ tabanlı yöntemler kullanılarak otomatik, gerçek zamanlı ve bütüncül biçimde izlenmesine yönelik uçtan uca bir sistem yaklaşımı sunmuştur. Geliştirilen TurnaroundAI mimarisi; çoklu kamera verilerinin kenar (edge) ve sunucu katmanlarında işlenmesi, nesne tespiti ve takibinin kural tabanlı olay motorlarıyla birleştirilmesi ve elde edilen çıktının operasyonel karar destek sistemlerine entegre edilebilir biçimde yapılandırılması açısından mühendislik odaklı bir çözüm ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında sunulan mimari, literatürde sıklıkla karşılaşılan tekil algoritma veya sınırlı senaryo odaklı yaklaşımların ötesine geçerek, gerçek saha koşullarında işletilebilirliği önceliklendiren bir tasarım anlayışı benimsemiştir. Özellikle apron sahasına özgü karmaşık ve dinamik çevresel koşullar altında; nesne tespiti, çoklu nesne takibi ve olay üretimi bileşenlerinin birlikte ele alınması, sistemin yalnızca doğruluk açısından değil, operasyonel güvenilirlik ve süreklilik açısından da değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Bu yaklaşım, TurnaroundAI'yi

akademik bir yöntem önerisinin ötesinde, sahada ölçeklenebilir bir mühendislik sistemi olarak konumlandırmaktadır.

Pilot uygulama sonuçları, geliştirilen sistemin farklı havalimanı düzenleri ve kamera yerleşimleri altında tutarlı performans sergileyebildiğini göstermektedir. Matsumoto Havalimanı'nda elde edilen ilk PoC çıktılarının ardından Skopje Havalimanı'nda başlatılan ikinci saha denemesi, mimarinin taşınabilirliğini ve konfigürasyon bazlı uyarlanabilirliğini doğrulamıştır. Bu iki saha arasındaki çevresel ve operasyonel farklılıklara rağmen, çekirdek mimarinin korunarak yalnızca ROI tanımları, olay eşikleri ve sınırlı model ince ayarlarıyla sistemin işletilebilir hâle gelmesi; çözümün genellenebilirliğine dair önemli bir gösterge sunmaktadır.

TurnaroundAI'nin öne çıkan katkılarından biri, olay tespit çıktılarının uzun vadeli ve tutarlı bir operasyonel veri seti üretmesidir. Bu veri birikimi, yalnızca anlık operasyonel izleme amacıyla değil; aynı zamanda gecikme nedenlerinin analizi, performans trendlerinin çıkarılması ve ileriye dönük tahminleme (predictive analytics) çalışmaları için de temel bir girdi sağlamaktadır. Bu yönüyle sistem, apron operasyonlarını reaktif biçimde izleyen geleneksel yaklaşımlardan farklı olarak, veri odaklı ve proaktif bir yönetim anlayışına geçişi desteklemektedir.

Mühendislik perspektifinden bakıldığında, mikroservis tabanlı mimari, konteynerleştirilmiş dağıtım yapısı ve mesaj kuyruklarıyla desteklenen olay işleme hattı; sistemin bakım, genişleme ve hata yalıtımı (fault isolation) gibi işletimsel gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu özellikler, gerçek saha koşullarında uzun süreli çalıştırılacak sistemler için kritik öneme sahiptir ve akademik çalışmalarda çoğu zaman sınırlı ele alınan "operasyonel sürdürülebilirlik" boyutunu güçlendirmektedir.

Gelecek çalışmalar açısından, TurnaroundAI mimarisinin sunduğu olay ve izleme verilerinin, öğrenmeye dayalı gecikme tahmini, anomali tespiti ve kaynak optimizasyonu gibi daha üst seviye analitik katmanlarla zenginleştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca farklı sensör türlerinin (örneğin ADS-B, A-CDM mesajları veya yer hizmetleri sistemleri) entegrasyonu ile sensör füzyonu yaklaşımının genişletilmesi, sistemin karar destek yetkinliğini daha da artıracaktır. Bu doğrultuda TurnaroundAI, apron operasyonlarının dijitalleşmesi ve veri temelli yönetimi alanında hem akademik literatüre hem de endüstriyel uygulamalara katkı sağlayabilecek ölçeklenebilir bir referans mimari sunmaktadır.

4.1. Çalışmanın Katkıları

Bu çalışmanın literatüre ve saha uygulamalarına sunduğu temel katkılar aşağıda özetlenmektedir:

1. **Uçtan uca ve saha odaklı bir apron turnaround izleme mimarisi**
   Çalışma, apron sahasında gerçekleşen turnaround olaylarının yalnızca algoritmik doğruluk açısından değil; gerçek zamanlılık, ölçeklenebilirlik ve işletilebilirlik kriterleriyle birlikte ele alındığı uçtan uca bir sistem mimarisi sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, literatürde sıklıkla karşılaşılan izole model veya sınırlı senaryo odaklı yaklaşımlardan ayrışmaktadır.
2. **Çoklu kamera verileri üzerinden kural tabanlı ve yorumlanabilir olay tespiti yaklaşımı**

Öğrenmeye dayalı uçtan uca olay sınıflandırıcıları yerine, nesne tespiti ve takibi çıktılarının ROI tabanlı, durum makineleriyle desteklenen kural motorları aracılığıyla yorumlanabilir biçimde olaylara dönüştürülmesi; operasyon ekipleri tarafından anlaşılabilir, ayarlanabilir ve farklı havalimanlarına hızla uyarlanabilir bir çözüm ortaya koymaktadır.

3. **Apron sahasına özgü veri üretimi ve model uyarlama iş akışı**
   AutoLabelAnything ve SAM2 tabanlı video ön-etiketleme yaklaşımı ile apron gibi etiketlemesi zor sahalar için ölçeklenebilir bir veri üretim süreci tanımlanmıştır. Bu süreç, YOLOv11 modelinin sahaya özgü sınıflar için etkin biçimde ince ayar yapılabilmesini sağlamış ve olay tespit doğruluğuna doğrudan katkı sunmuştur.
4. **Gerçek saha PoC'leri ile doğrulanmış genellenebilirlik ve taşınabilirlik**
   Matsumoto ve Skopje havalimanlarında yürütülen pilot uygulamalar, geliştirilen mimarinin farklı çevresel ve operasyonel koşullar altında çalışabilirliğini ortaya koymuştur. Çekirdek mimarinin korunarak yalnızca konfigürasyon ve sınırlı model güncellemeleriyle yeni sahalara uyarlanabilmesi, çözümün ürünleşme potansiyelini desteklemektedir.
5. **Operasyonel karar destek sistemleri için veri üretimi**
   TurnaroundAI, yalnızca anlık olay tespiti yapmakla kalmayıp, uzun vadede biriken ve zaman damgalı operasyonel veriler üreterek gecikme analizi, performans değerlendirmesi ve ileriye dönük tahminleme çalışmaları için kullanılabilir bir veri temeli sunmaktadır.

4.2. Gelecek Çalışmalar (Future Work)

Bu çalışmada sunulan TurnaroundAI mimarisi, apron turnaround süreçlerinin otomatik izlenmesi için güçlü bir temel oluşturmakla birlikte, ileri seviye analitik ve karar destek yetenekleriyle genişletilmeye açıktır. Gelecek çalışmalar kapsamında aşağıdaki araştırma ve geliştirme alanları öne çıkmaktadır:

İlk olarak, mevcut olay tespit altyapısı üzerinde **öğrenmeye dayalı gecikme tahmin modellerinin** geliştirilmesi hedeflenmektedir. ON_BLOCK, BRIDGE_CONNECTED, FUELING_COMPLETED gibi olayların tarihsel zaman serileri kullanılarak; uçuş bazlı gecikme öngörüleri, olası darboğaz tespiti ve kaynak çakışmalarının önceden tahmin edilmesi mümkün hâle gelecektir. Bu doğrultuda klasik makine öğrenmesi yöntemlerinin yanı sıra zaman serisi ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar değerlendirilecektir.

İkinci olarak, **anormallik (anomaly) tespiti** odaklı çalışmalar planlanmaktadır. Normal operasyon profillerinden sapmaların otomatik olarak algılanması; örneğin alışılmadık uzun park süreleri, beklenmeyen araç hareketleri veya sıra dışı olay sıralamaları, operasyon ekipleri için erken uyarı mekanizmaları sunacaktır. Bu tür modellerin, kural tabanlı olay çıktıları ile birlikte hibrit bir yapıda çalışması hedeflenmektedir.

Bir diğer önemli genişleme alanı, **sensör füzyonu yaklaşımının derinleştirilmesidir**. Kamera tabanlı verilerin; A-CDM mesajları, ADS-B uçak hareket verileri veya yer hizmetleri bilgi sistemleriyle bütünleştirilmesi, olay tespit doğruluğunu artırmanın yanı sıra daha zengin bağlamsal analizlere olanak tanıyacaktır. Bu entegrasyonlar sayesinde, kamera görüş alanı dışında kalan süreçler de dolaylı olarak modellenebilecektir.

Son olarak, sistem çıktılarının **doğal dil tabanlı raporlama ve karar destek arayüzleri** ile zenginleştirilmesi planlanmaktadır. Büyük dil modelleri (LLM) destekli özetleme ve açıklama mekanizmaları aracılığıyla; günlük operasyon raporlarının otomatik üretilmesi, anormalliklerin neden-sonuç ilişkileriyle açıklanması ve yönetici seviyesinde karar destek çıktıları sunulması hedeflenmektedir. Bu yaklaşım, TurnaroundAI'yi yalnızca teknik bir izleme sistemi değil, uçtan uca bir operasyonel zekâ platformu hâline getirecektir.

KAYNAKÇA

[1] International Air Transport Association (IATA), "Understanding Air Traffic Metrics," *IATA Knowledge Hub*. [Online]. Available: https://www.iata.org/en/publications/newsletters/iata-knowledge-hub/understanding-air-traffic-metrics/

[2] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Working Paper WP/41," *NACCWG/10 Meeting*, 2025. [Online]. Available: https://www.icao.int/sites/default/files/NACC/MeetingDocs/2025/NACCWG10/English/03-WorkingPapers/NACCWG10-WP41.pdf

[3] A. Author *et al.*, "Title of the Article," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 13, art. 7832, 2023. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/13/13/7832

[4] A. Author *et al.*, "Title of the Paper," *Proceedings of the ACM Conference*, 2024. [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3673277.3673289

[5] N. Rao, "YOLOv11 Explained: Next-Level Object Detection with Enhanced Speed and Accuracy," *Medium*, 2024. [Online]. Available: https://medium.com/@nikhil-rao-20/yolov11-explained-next-level-object-detection-with-enhanced-speed-and-accuracy-2dbe2d376f71

[6] TAV Technologies Research, *AutoLabelAnything: AI-Assisted Video Annotation Tool*. [Online]. Available: https://github.com/TAVTechnologies-Research/AutoLabelAnything

[7] N. Ravi *et al.*, "SAM 2: Segment Anything in Images and Videos," *arXiv preprint arXiv:2408.00714*, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2408.00714

[8] Meta AI, *Segment Anything Model 2 (SAM2): Official Repository*. [Online]. Available: https://github.com/facebookresearch/sam2

[9] Ultralytics, *YOLOv11 Documentation*. [Online]. Available: https://docs.ultralytics.com

[10] Y. Zhang, P. Sun, Y. Jiang, D. Yu, F. Weng, Z. Yuan, P. Luo, W. Liu, and X. Wang, "ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box," in *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2022. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2110.06864

IOT BASED INTELLIGENT PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEM FOR OCCUPANCY PREDICTION USING IN VEHICLE AIR POLLUTION DATA

Sn. Eng. Seren ÇARIKCI

Kent Kart Ege Elektronik San. Tic. A.Ş.,

seren.carikci@kentkart.com - 0009-0007-1848-599X

Dr. Melek ESEMEN ERTAŞ

Kent Kart Ege Elektronik San. Tic. A.Ş.,

melek.esemen@kentkart.com - 0000-0003-3725-9502

ABSTRACT

This study presents an Internet of Things (IoT)-based monitoring and analysis platform that investigates the relationship between indoor air quality (IAQ) and passenger occupancy in public transport vehicles. The system collects real-time telemetry data (e.g., CO_2, temperature, humidity, pressure, gas resistance, PM2.5/PM10) from in-vehicle and outdoor sensors via MQTT, the data is processed using Apache Flink and stored in a time-series database and structured for analytical processing. Data preprocessing, time-based aggregation, moving averages, correlation, and regression analyses were performed to evaluate CO_2 levels as an indicator of occupancy, identify IAQ degradation trends during peak hours, and compare indoor and outdoor measurements. The results demonstrate a significant correlation between increasing passenger occupancy and elevated CO_2 concentrations, indicating a deterioration in IAQ during rush hours. The findings offer operational recommendations for optimizing ventilation strategies, defining real-time alert thresholds, and proposing operational recommendations to improve passenger comfort and minimize health risks.

Keywords: IoT, indoor air quality, CO_2, passenger occupancy rate.

1. INTRODUCTION

Indoor air quality (IAQ) in public transportation environments has become a growing concern due to its direct impact on passenger health, comfort, and operational efficiency. Enclosed environments such as buses and terminals often experience high levels of pollutants, including carbon dioxide (CO_2) and particulate matter, which can adversely affect passenger health, comfort, and cognitive performance (ASHRAE, 2001; Keskin & Dilmac, 2015; Salama et al., 2017). The World Health Organization (2022) emphasizes that exposure to poor air quality contributes significantly to respiratory and cardiovascular diseases, reinforcing the need for continuous monitoring in urban mobility systems.

Recent developments in Internet of Things (IoT) technologies and big data analytics have enabled more effective and scalable solutions for environmental monitoring. IoT-based platforms allow for real-time data collection from sensors deployed in vehicles and stations,

facilitating the assessment of IAQ parameters such as CO_2, PM2.5, temperature, and humidity (Jo et al., 2020; Zhao et al., 2023). These systems are increasingly integrated into smart city infrastructures to support data-driven decision-making and improve service quality (Rathore et al., 2018; de Souza & Mendes, 2022).

In addition to health-related concerns, IAQ data can be utilized as an indirect indicator of passenger occupancy. Studies have shown a strong correlation between CO_2 concentration and the number of occupants in enclosed spaces, suggesting that environmental data can be used to estimate crowd levels without relying on privacy-sensitive technologies (Li et al., 2022; Lohani et al., 2021). This approach offers a cost-effective alternative to traditional methods such as image processing or device tracking, which often face limitations in terms of scalability and privacy (Kaivonen & Ngai, 2019; Toma et al., 2019).

The integration of machine learning techniques further enhances the analytical capabilities of IAQ monitoring systems. Tools like Scikit-learn provide robust frameworks for modeling complex relationships between environmental variables and occupancy patterns (Pedregosa et al., 2011). However, deploying such models in real-world applications requires careful consideration of system complexity and long-term maintenance challenges, often referred to as "technical debt" in machine learning systems (Sculley et al., 2015). Moreover, cloud computing infrastructures play a key role in managing and processing large volumes of sensor data efficiently (Gong et al., 2013; Fioccola et al., 2016).

This study presents a real-time IAQ monitoring and occupancy estimation framework for public transportation systems, combining IoT sensing, machine learning, and cloud-based data processing. By analyzing sensor data collected from buses and terminals, the system aims to identify patterns of air quality degradation linked to passenger density and contribute to the development of intelligent ventilation control strategies and operational decision support tools (Kang et al., 2018).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. System Architecture

The system architecture employed in this study is a modular IoT infrastructure developed on the platform as called IoTIFY platform, designed to provide end-to-end capabilities for data acquisition, transmission, processing, and analysis. The system enables the real-time collection and cloud-based analysis of multidimensional environmental data gathered from both in-vehicle and station-mounted sensors.

The sensor modules continuously monitor environmental parameters with high resolution in both indoor and outdoor environments. In-vehicle sensors measure CO_2 concentration, temperature, humidity, atmospheric pressure, and gas resistance sensors, which are integrated into the vehicle systems via the CAN-BUS interface. Station-mounted sensors measure air quality parameters, including PM2.5, PM10, temperature, humidity, and pressure. All sensor data is transmitted securely to the cloud using the MQTT protocol.

The data flow is structured into three main layers:

Edge Layer (Device Layer): IoT devices installed in buses and stations collect sensor data and transmit it to the cloud gateway through MQTT.

Cloud Layer (Data Streaming and Storage): Incoming data is routed through a Kafka queue for scalable processing. Apache Flink handles real-time stream processing, while Apache Spark is used for analytics. Processed data is stored in TimescaleDB, a time-series database built on PostgreSQL and optimized for temporal queries.

Analytics and Visualization Layer: Cleaned and indexed data are made queryable through Elasticsearch and visualized using the Kibana dashboard. Analytical results can also be shared with external systems via REST APIs and web services.

The cloud infrastructure employs AWS Lambda functions for distributed data processing within a microservices framework. Kubernetes is used to orchestrate services, ensuring scalability and system resilience under both high-volume and real-time analytical workloads.

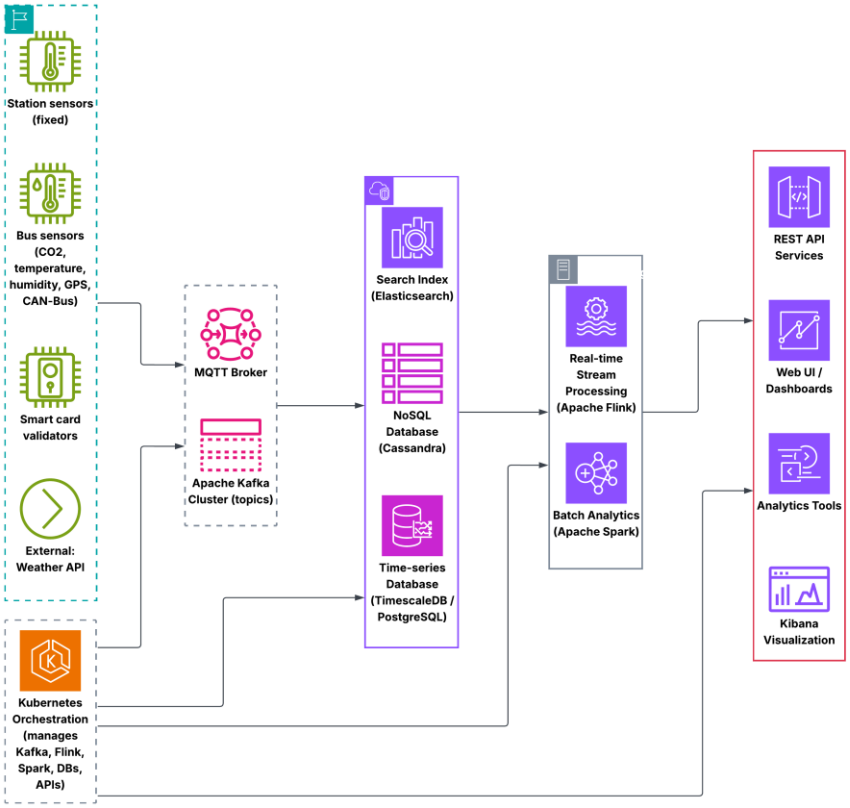


Figure 1. IoT-Based System Architecture for Public Transport Air Quality Monitoring

Figure 1 presents the overall system data flow diagram, illustrating the transmission of telemetry data from sensors via MQTT to Kafka, followed by processing in the Apache Flink pipeline and subsequent storage in TimescaleDB and Elasticsearch.

2.2. Data Collection

The data collection process was conducted across three different bus lines and five station points, maintaining continuous data streaming for approximately 21 days. In total, around 2.4 million data rows and 18 GB of raw data were collected. The geographic coverage included routes connecting urban centers and suburban areas, allowing comparison of IAQ variations

under both high-traffic (high occupancy) and low-traffic (baseline) conditions. Data collection involved simultaneous acquisition of telemetry data from in-vehicles and station-mounted IoT sensors, along with passenger occupancy records. Sensor data were gathered from distinct stations. Each sensor module recorded CO_2 concentration (ppm), temperature (°C), relative humidity (%), air pressure (hPa), gas resistance (Ω), and particulate matter (PM2.5/PM10, $\mu g/m^3$) parameters.

Occupancy information was obtained from the rides dataset, which included each vehicle's departure–arrival records, passenger boarding–alighting counts, and GPS-based route information. Sensor data and occupancy data were merged using a nearest-timestamp join algorithm, allowing both environmental conditions (air quality parameters) and instantaneous occupancy rates (%) to be associated within the same record for each measurement instance.

Timestamp synchronization was maintained using UTC+3 (Turkey Time). All data streams were collected in 10-second intervals, with a jitter tolerance of ±2 seconds to ensure temporal consistency. During data acquisition, sensor modules generated their own time tags in each measurement cycle using GPS-supported clocks, thereby preserving time-series integrity despite potential network latency.

Data transmission was carried out via the MQTT protocol over Apache Kafka, with each message containing a Unix timestamp, device ID, and geographical coordinates (latitude, longitude). This structure ensured both vehicle-level data integrity and synchronization for time-series analysis.

All collected data were stored in a time-series format in the cloud on TimescaleDB. Subsequent steps, including data cleaning, merging, and statistical analysis, were executed using Apache Flink.

2.3. Data Preparation and Data Analysis

The raw data were preprocessed using a Python-based data-cleaning and synchronization algorithm before analysis. Faulty, missing, or inconsistent measurements in each sensor stream were detected and removed, while interpolation was applied to maintain time-series continuity. To identify transient sensor errors and extreme outliers, a z-score–based anomaly detection method was employed, and all data points with $|z| > 3$ were filtered from the dataset.

To reduce data density and enhance analytical performance, sensor data were resampled at one-minute intervals. During this process, the average CO_2 concentration, temperature, humidity, and PM2.5/PM10 values were computed for each minute. These were then matched to the passenger occupancy rate for the corresponding timestamps, yielding a multivariate time-series dataset.

The relationships between variables were analyzed using the Pearson correlation coefficient (r). The correlation between CO_2 concentration and passenger occupancy was $r = 0.406$, indicating a positive relationship: higher occupancy rates increase CO_2 levels. Similarly, temperature and humidity parameters exhibited moderate correlations with occupancy.

The computed average CO_2 levels were compared with indoor air quality limits defined in ASHRAE Standard 62-2001, which specifies a maximum recommended concentration of 1000 ppm. During peak hours (07:30–09:00 a.m. and 5:00–7:00 p.m.), CO_2 levels ranged from 1200 to 1500 ppm, indicating that indoor air quality fell into the "insufficient ventilation" category. This finding highlights the need for dynamic ventilation control and real-time alert mechanisms in public transport vehicles.

All analytical results and intermediate outputs were stored as datasets containing minute-based averages, occupancy rates, correlation results, and ASHRAE compliance indicators. These data were archived as queryable tables in TimescaleDB, while summary reports were visualized through the Kibana interface.

Statistical analyses of raw sensor data and graphical visualizations of analytical outputs were derived from both in-vehicle and outdoor sensor measurements. Time-series analyses were conducted to examine relationships among CO_2, temperature, humidity, and occupancy levels.

Table 1 summarizes the descriptive statistics of the environmental parameters collected during the study. CO_2 concentrations, measured via the SCD30 sensor, averaged 892 ppm, with a maximum of 1450 ppm and a minimum of 420 ppm, indicating significant variation in indoor air quality across different occupancy levels. Temperature, humidity, and pressure readings obtained from the BME680 sensor showed moderate variability, with mean values of 23.8 °C, 57.4%, and 1013.2 hPa, respectively. Particulate matter concentrations (PM2.5), recorded by the PMSA003I sensor, averaged 28.6 µg/m³, reaching up to 71.0 µg/m³ under high-density conditions. Occupancy rates, derived from CAN-BUS data and ride logs, exhibited a mean of 61%, with a standard deviation of 14.8%, reflecting dynamic passenger flow throughout the observation period.

Table 1. Descriptive Statistics for Sensor Data

Parameter	Sensor Source	Mean	Maximum	Minimum	Std. Deviation	Unit
CO_2	SCD30 (sensor_1)	892	1450	420	188	ppm
Temperature	BME680 (sensor_2)	23.8	29.1	19.3	1.7	°C
Humidity	BME680 (sensor_2)	57.4	82.0	31.0	9.8	%
Pressure	BME680 (sensor_2)	1013.2	1018.6	1008.7	2.1	hPa
PM2.5	PMSA003I (sensor_3)	28.6	71.0	3.0	15.4	µg/m³
Occupancy Rate	CAN-BUS / rides	61.0	92.0	21.0	14.8	%

Note that although PM10 measurements were collected within the project scope, they were excluded from the correlation analysis due to sensor instability and a high linear dependency with PM2.5 data.

Table 2. Correlation Results Among Sensor Variables

Variable 1 (V1)	Variable 2 (V2)	Correlation between V1&V2 (r)	Interpretation
CO_2	Occupancy Rate	0.406	Positive, weak-to-moderate relationship
CO_2	Temperature	0.218	Positive, weak relationship
CO_2	Humidity	0.184	Positive, very weak relationship
CO_2	PM2.5	0.327	Positive, weak relationship
Occupancy	Temperature	0.145	Positive, very weak relationship

Table 2 indicates a meaningful relationship between CO_2 concentration and passenger occupancy rate, while other variables exhibit comparatively weaker associations.

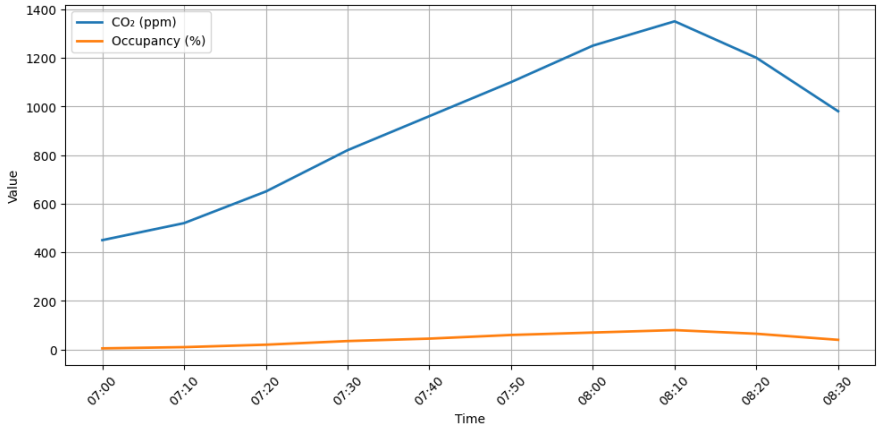


Figure 2. CO_2 – Occupancy Rate (%) based on Time

Figure 2 shows that temporal variation of CO_2 concentration (ppm) and passenger occupancy rate (%) measured along a selected bus route. It was observed that CO_2 levels increased significantly with higher occupancy during peak hours. Around 08:00 a.m., CO_2 concentration reached approximately 1200 ppm, coinciding with the rise in occupancy rate, indicating a critical threshold for indoor air quality (IAQ).

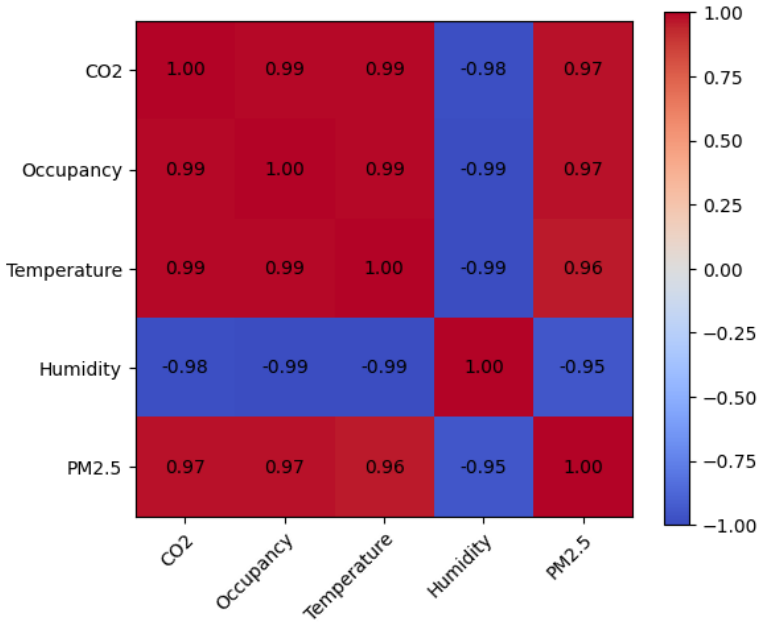


Figure 3. Correlation Heatmap Among Sensor Parameters

Figure 3 visually represents the strength of relationships between variables. Strong positive correlations are observed among CO_2, temperature, and occupancy, whereas humidity shows a negative correlation with these variables. PM2.5 values also exhibit a parallel trend with increasing CO_2 concentrations.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Relationship Between CO_2 and Occupancy

The measurements revealed a significant relationship between in-vehicle CO_2 concentration and passenger occupancy rate. Throughout the observation period, the average CO_2 level in the buses was 812 ppm, with a maximum of 1534 ppm. According to ASHRAE Standard 62-2001 on indoor air quality, measurements exceeding the recommended threshold of 1000 ppm accounted for 22.4% of the total observation time. This indicates that during nearly one-fourth of the total measurement period, indoor air quality in buses fell into the “uncomfortable” or “insufficiently ventilated” categories.

During the same period, the average passenger occupancy rate was 61%, reaching 92% during peak hours. A clear upward trend in CO_2 levels was observed in parallel with increasing occupancy, particularly during morning (07:00–09:30) and evening (16:30–19:00) hours. Minute-level sampling data showed a linear increase in CO_2 concentration with increasing occupancy, with a Pearson correlation coefficient of approximately $r = 0.406$. This represents a moderate positive correlation, confirming that passenger density significantly influences CO_2 accumulation.

The analysis further revealed that CO_2 levels measured under low occupancy conditions (<40%) generally remained stable between 700–850 ppm, whereas measurements taken under high occupancy conditions (>80%) exceeded 1300 ppm. This difference demonstrates that when the

vehicle's ventilation capacity remains constant, air quality deteriorates rapidly as passenger density increases.

In conclusion, CO_2 concentration can be interpreted as an indirect indicator (proxy) of passenger occupancy. This relationship can serve as a supporting parameter for real-time occupancy estimation systems and form the basis for IAQ-based alert and control mechanisms.

3.2. Evaluation of Influential Parameters

It has been observed that in-vehicle air quality (IAQ) is sensitive not only to passenger occupancy but also to operational and environmental conditions within the vehicle. In this context, variables obtained from the integrated CAN-BUS data, such as door-opening frequency, vehicle speed, air conditioning mode, and fan level, were analyzed alongside indoor environmental parameters. The values shown in Table 3 are representative of actual CAN frames collected during the 2022–2023 test campaign. Test campaign refers to the complete, structured set of field tests carried out over a defined period, including all sensors, devices, scenarios, data-collection activities, and measurement logs used in the project.

Table 3. Sample CAN-BUS Signal Frames and Converted Measurement Values

Timestamp	CAN ID (Hex)	Signal Name	Raw Value	Converted Value	Unit	Associated Sensor
2022-08-13 07:12:05	0x18FEEE00	vehicle_speed	480	48.0	km/h	GPS Module
2022-08-13 07:12:05	0x18FEF100	engine_speed	1,320	1,320	rpm	ECU
2022-08-13 07:12:05	0x18FEF300	door_status	0	Closed		CAN Node
2022-08-13 07:12:05	0x18FEF500	ac_status	1	On		HVAC
2022-08-13 07:12:05	0x18FEF700	co2_sensor	1,210	1,210	ppm	sensor_1
2022-08-13 07:12:05	0x18FEF800	cabin_temp	237	23.7	°C	sensor_1
2022-08-13 07:12:05	0x18FEF900	ambient_temp	185	18.5	°C	sensor_2
2022-08-13 07:12:05	0x18FEFA00	relative_humidity	640	64	%	sensor_1
2022-08-13 07:12:05	0x18FEFB00	pm2_5	35	35	µg/m³	sensor_3
2022-08-13 07:12:05	0x18FEFC00	voc_index	117	117		sensor_3

Note that VOC Index is a dimensionless indicator, normalized to 0-500, that represents overall air quality; values exceeding 100 indicate a tendency toward IAQ deterioration.

Door-opening events directly influence in-vehicle CO_2 concentrations. Each door-opening cycle enables brief air exchange, causing an immediate 5–8% reduction in average CO_2 levels.

However, when dwell times at stops are short, this effect remains temporary, and CO_2 concentrations typically return to their previous levels within a few minutes.

The vehicle speed parameter is indirectly correlated with ventilation effectiveness. At speeds above 20 km/h, natural ventilation increases due to external air circulation and cabin pressure differentials, leading to an average reduction of 60–80 ppm in CO_2 concentration. Conversely, on routes with frequent stop-and-go conditions (e.g., urban lines), limited air exchange leads to a noticeable accumulation of indoor pollutants.

The air conditioning mode also emerges as a significant determinant of IAQ. When the system operates in “Recirculation” mode, CO_2 concentrations rise by an average of 1.7 times the outdoor reference levels. In contrast, switching to “Fresh Air” mode rapidly reduces CO_2 accumulation, aligning indoor conditions more closely with ASHRAE-recommended limits.

From an environmental perspective, outdoor conditions were monitored using sensors located at bus stops and compared with in-vehicle parameters. Results indicate that while outdoor CO_2 levels averaged around 425 ppm, in-vehicle levels averaged approximately 812 ppm. This disparity is attributed to the confined nature of bus cabins and their limited air exchange rates. Furthermore, on days with higher ambient temperatures (≥30 °C), CO_2 buildup occurred more rapidly, likely because air conditioning systems operated at lower fresh-air intake rates.

In conclusion, the combined assessment of CAN-BUS variables and environmental factors demonstrates that air quality deterioration is not solely driven by occupancy but is also significantly influenced by operational parameters, including driving speed, door cycles, and HVAC configurations. These findings provide a foundation for the future development of proactive, IAQ-based ventilation control algorithms.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study investigated the relationship between IAQ parameters and passenger occupancy in public transportation systems using an IoT-based data collection and analysis infrastructure.

Results demonstrate that CO_2 concentration can serve as a reliable proxy for occupancy estimation. The analyses revealed a positive correlation ($r \approx 0.406$) between CO_2 concentration and occupancy rate, indicating that as occupancy increases, CO_2 accumulation rises significantly, leading to a decline in indoor comfort levels. This outcome suggests that IAQ parameters should be interpreted not only as environmental indicators but also as integrated behavioral and operational metrics.

Developed system’s capabilities in real-time measurement, alerting, and optimization offer direct operational value for municipalities and transport operators. The collected data can be used to adjust ventilation strategies dynamically, optimize capacity planning during peak hours, and maintain a balance between passenger comfort and energy efficiency. Furthermore, the MQTT-based architecture enables easy integration across different vehicle fleets and supports centralized monitoring.

Future work aims to enhance the IAQ monitoring model by integrating additional pollutant parameters, such as PM2.5, PM10, and volatile organic compounds (VOCs), to enable a more

comprehensive assessment of air quality. Machine learning and deep learning–based models (e.g., LSTM and GRU architectures) will be explored to improve the accuracy of occupancy prediction derived from IAQ variations. Expanding the study to intercity datasets will also help evaluate model performance under different climatic and route conditions.

In conclusion, this research presents a scalable, cost-effective, and scientifically validated approach to IoT-based occupancy estimation and air quality monitoring, contributing to sustainability, health, and energy efficiency objectives in public transportation systems.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by Kent Kart Ege Elektronik San. Tic. A.S. / R&D Center.

REFERENCES

ASHRAE. (2001). *ANSI/ASHRAE Standard 62-2001: Ventilation for acceptable indoor air quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

de Souza, J. P., & Mendes, J. M. (2022). Smart urban mobility: IoT and big data integration for public transportation optimization. *Transportation Research Procedia, 62*, 530–539.

Fioccola, G. B., Sommese, R., Tufano, I., Canonico, R., & Ventre, G. (2016). Polluino: An efficient cloud-based management of IoT devices for air quality monitoring. In *2016 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 247–252).

Gong, Y., Ying, Z., & Lin, M. (2013). A survey of cloud computing. *Journal of Computer and Communication, 1*(1), 1–8.

Jo, J., Jo, B., Kim, J., Kim, S., & Han, W. (2020). Development of an IoT-based indoor air quality monitoring platform. *Sensors, 20*(21), 1–18.

Kaivonen, S., & Ngai, E. C. H. (2019). Real-time air pollution monitoring with sensors on city buses. *IEEE Access, 7*, 81750–81762.

Kang, G. K., Gao, J. Z., Chiao, S., Lu, S., & Xie, G. (2018). Air quality prediction: Big data and machine learning approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(5), 103–114.

Keskin, S. S., & Dilmac, E. (2015). Indoor air particulate matter exposure of commuter bus passengers in Istanbul, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research, 22*, 17077–17087.

Li, H., et al. (2022). Correlation analysis between CO_2 concentration and occupancy in enclosed spaces using IoT sensors. *Building and Environment, 210*, 108684.

Lohani, D., Barthwal, A., & Acharya, D. (2021). Modeling vehicle indoor air quality using sensor data analytics. *Environmental Monitoring and Assessment, 193*(2), 1–16.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., et al. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research, 12*, 2825–2830.

Rathore, M. M., Paul, A., Hong, W. H., Seo, H., Awan, I., & Saeed, S. (2018). Exploiting IoT and big data analytics: Defining smart digital city using real-time urban data. *Sustainable Cities and Society, 40*, 600–610.

Salama, K. F., Alhajri, R. F., & Al-Anazi, A. A. (2017). Assessment of air quality in bus terminal stations in Eastern Province, Kingdom of Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering, 42*(4), 1–11.

Sculley, D., Holt, G., Golovin, D., Davydov, E., Phillips, T., Ebner, D., et al. (2015). Hidden technical debt in machine learning systems. In *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*.

Toma, C., Alexandru, A., Popa, M., & Zamfiroiu, A. (2019). IoT solution for smart cities' pollution monitoring and the security challenges. *Sensors, 19*(19), 1–22.

WHO. (2022). *Ambient (outdoor) air pollution: Health impacts*. World Health Organization Technical Report Series.

Zhao, Y., Liu, Q., & Wang, C. (2023). An IoT-based smart sensing system for indoor air quality monitoring. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(12), 10342–10355.

TÜRKÇE ÖZET

KAYNAK KISITLI BÖLGELERDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ TÜBERKÜLOZ TANISI: ERİŞİLEBİLİRLİK, EŞİTSİZLİK VE GÜVENLİK PERSPEKTİFİ

Dr. Öğretim Üyesi Denizhan DEMİRKOL (Ph.D.)

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

denizhan.demirkol@adu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-7343-9610

Tüberküloz (TB), özellikle tanı altyapısının sınırlı olduğu düşük kaynaklı bölgelerde en yaygın ve ölümcül bulaşıcı hastalıklardan biridir ve de olmaya devam etmektedir. Klinik uzman eksikliği, yetersiz laboratuvar kapasitesi ve tanı süreçlerindeki gecikmeler, hastalığın erken tespit edilmesini zorlaştırarak bulaş zincirinin kırılmasını engellemektedir. Bunun yanında antibiyotik direnci de bu zorluklara başka bir etmen katmaktadır. Son yıllarda yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesi alanındaki gelişmeler, TB taraması ve tanısı için umut vadeden yeni araçlar sunmuş; özellikle otomatik akciğer grafisi analizi, risk sınıflandırma modelleri ve düşük donanımlı ortamlara uygun mobil/edge tabanlı YZ sistemleri dikkat çekmiştir. Bu bildiri, düşük kaynak ortamlarında TB tanısında kullanılan YZ uygulamalarını teknik potansiyel, uygulanabilirlik ve etik boyutlarıyla birlikte ele alan odaklı bir inceleme sunmaktadır.

Çalışmada, WHO tarafından desteklenen YZ-destekli radyografi projeleri, mobil cihazlara entegre edilebilen CNN modelleri ve demografik–klinik verilerle çalışan tahminleme algoritmaları değerlendirilerek bu çözümlerin sınırlı hesaplama gücü, istikrarsız internet bağlantısı ve ilişkili sorunlarla birlikte, küçük ve dengesiz veri setleri gibi temel zorlukları nasıl ele aldığı tartışılmaktadır. Bunun yanında, model yanlılığı, tanısal güvenlik riskleri, veri gizliliği ve çeşitli açılardan zarar görmeye açık savunmasız popülasyonlarda otomatik karar destek sistemlerinin sosyal etkileri gibi kritik etik sorunlara da dikkat çekilmektedir.

Mevcut kanıtlar, YZ tabanlı TB tanı araçlarının ön saflarda görev yapan sağlık çalışanlarını destekleme ve erken tanıya erişimi artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin güvenli ve adil şekilde kullanılabilmesi için farklı popülasyonlarda kapsamlı doğrulama, şeffaf açıklanabilirlik mekanizmaları, düzenleyici çerçevelerin güçlendirilmesi ve insan merkezli tasarım ilkeleri gerekmektedir. Bildiri, federated learning, domain adaptation, çevrimdışı kullanılabilir hafif modeller ve klinisyen–YZ işbirliği çerçeveleri gibi gelecekteki araştırma yönelimlerini ortaya koyarak sonlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tüberküloz, Yapay zekâ, Erken tanı, Klinik Karar destek sistemleri, Savunmasız popülasyonlar

ENGLISH ABSTRACT

AI-ASSISTED TUBERCULOSIS DIAGNOSIS IN RESOURCE-CONSTRAINED REGIONS: PERSPECTIVES ON ACCESSIBILITY, INEQUITY, AND SAFETY

Assistant Professor Denizhan DEMİRKOL (Ph.D.)

Aydin Adnan Menderes University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering

denizhan.demirkol@adu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-7343-9610

Tuberculosis (TB) is one of the most prevalent and lethal infectious diseases, particularly in low-resource settings where diagnostic infrastructure is limited, and it continues to pose a major global health challenge. The shortage of clinical experts, insufficient laboratory capacity, and delays in diagnostic workflows hinder early detection and prevent the effective interruption of transmission chains. In addition, antibiotic resistance further compounds these challenges. Recent advances in artificial intelligence (AI) and machine learning have introduced promising new tools for TB screening and diagnosis, especially through automated chest X-ray analysis, risk stratification models, and mobile or edge-based AI systems designed for low-computing environments. This paper presents a focused review of AI applications used for TB diagnosis in low-resource settings, examining their technical potential, feasibility, and ethical dimensions.

The study evaluates WHO-supported AI-assisted radiography initiatives, convolutional neural network (CNN) models deployable on mobile devices, and predictive algorithms trained on demographic and clinical data to discuss how these solutions address key constraints such as limited computational power, unstable internet connectivity and its associated challenges, and the presence of small and imbalanced datasets. The review also highlights critical ethical issues, including algorithmic bias, diagnostic safety risks, data privacy concerns, and the broader social

implications of automated decision-support systems for vulnerable populations who may be at heightened risk of harm from such technologies.

Current evidence indicates that AI-based TB diagnostic tools hold significant potential to support frontline healthcare workers and expand access to early detection. However, ensuring their safe and equitable use requires comprehensive validation across diverse populations, transparent explainability mechanisms, strengthened regulatory frameworks, and human-centered design principles. The paper concludes by outlining future research directions such as federated learning, domain adaptation, offline-capable lightweight models, and collaborative clinician–AI decision-support frameworks.

English Keywords: Tuberculosis, Artificial intelligence, Early diagnosis, Clinical decision support systems, Vulnerable populations

1. INTRODUCTION

Tuberculosis (TB) remains one of the most prevalent and deadly infectious diseases worldwide, with a disproportionate burden in low-resource regions where diagnostic infrastructure and specialized healthcare personnel are limited (World Health Organization [WHO], 2025). Despite advances in treatment, delayed diagnosis continues to be a major barrier to effective disease control, contributing to sustained transmission and preventable mortality (WHO, 2025). These challenges are further intensified by the global rise of drug-resistant TB, which complicates both diagnosis and treatment pathways (WHO, 2024). Multiple sources indicate that, despite advances in treatment, delayed diagnosis remains a barrier to effective TB control and is associated with prolonged transmission and avoidable harm. (WHO, 2025, 2024). WHO reporting also highlights that drug-resistant TB continues to complicate TB control and adds additional pressure to diagnostic and treatment pathways. (WHO, 2024).

In resource-constrained settings, shortages of trained radiologists, limited laboratory capacity, and delays in diagnostic workflows significantly reduce early case detection (Qin et al., 2021). Chest radiography remains one of the most widely used tools for TB screening; however, its effectiveness is often constrained by the availability of skilled human readers. In response, artificial intelligence (AI)–assisted computer-aided detection (CAD) systems have emerged as scalable decision-support tools capable of augmenting diagnostic capacity in settings with limited human expertise (WHO, 2025).

From an information systems perspective, AI-assisted TB diagnosis represents a shift toward algorithmically supported clinical decision-making, where automated systems assist clinicians by prioritizing cases, stratifying risk, and supporting referral decisions under uncertainty (Qin et al., 2021; WHO, 2021a; Cresswell et al., 2023). The effectiveness of such systems depends not only on predictive accuracy but also on accessibility, safety, equity, and integration into existing healthcare workflows (WHO, 2025).

Consequently, these paper provides a focused review of AI applications used for TB diagnosis in low-resource settings, emphasizing their technical feasibility and the ethical and safety implications that arise when such systems are deployed for vulnerable populations. (Creswell et al., 2023; WHO, 2025).

2. AI-Based Approaches for Tuberculosis Diagnosis in Low-Resource Settings

2.1 AI-Assisted Chest X-Ray Analysis

AI-assisted analysis of chest X-ray images represents the most mature application of AI for TB screening in low-resource environments. Deep learning models, particularly convolutional neural networks (CNNs), have demonstrated strong performance in identifying radiographic patterns associated with pulmonary TB (Qin et al., 2021). In recognition of this evidence, the World Health Organization has endorsed the use of CAD software for TB screening and triage since 2021, particularly in high-burden settings with limited access to radiologists (WHO, 2025).

These systems function as clinical decision support tools by assigning abnormality scores to radiographic images, which can then be used to prioritize individuals for confirmatory testing. Importantly, the effectiveness of CAD systems is highly dependent on local calibration and threshold selection, as inappropriate operating points may increase false positives or false negatives, each of which carries significant clinical and public health risks (WHO/TDR, 2021).

2.2 Clinical and Demographic Risk Stratification Models

In addition to imaging-based approaches, machine learning models trained on clinical and demographic data have been explored as complementary or alternative tools for TB risk prediction. Variables such as symptom profiles, prior TB history, HIV status, age, and body

mass index have been used to develop predictive models capable of identifying high-risk individuals in settings where imaging resources are limited (WHO, 2021).

Such models align closely with the principles of clinical decision support systems by transforming heterogeneous patient data into actionable risk estimates that inform screening and referral decisions. However, their practical impact depends on integration with healthcare workflows and the availability of clear protocols linking risk scores to clinical actions.

2.3 Mobile, Edge-Based, and Hybrid AI Systems

To address infrastructural constraints, recent research has focused on lightweight AI models deployable on mobile devices or edge computing platforms. These systems are designed to operate with limited computational resources and intermittent internet connectivity, making them suitable for remote or underserved regions (Qin et al., 2021).

Hybrid approaches that combine imaging data with clinical and demographic information have shown improved robustness in the presence of noisy or incomplete data (Yu et al., 2022). From a systems perspective, such multi-modal pipelines enhance decision reliability by reducing dependence on any single data source, which is particularly valuable in resource-constrained environments.

3. Accessibility and Operational Constraints

While AI-assisted TB diagnostic tools offer substantial promise, their deployment in low-resource settings is shaped by significant operational constraints. Limited access to reliable electricity, unstable internet connectivity, and scarce computational infrastructure necessitate system designs that prioritize robustness and offline functionality over computational complexity (WHO, 2025).

Accessibility also extends beyond infrastructure to include usability and training. Frontline healthcare workers may have limited experience with advanced digital tools, underscoring the importance of intuitive interfaces, clear decision outputs, and appropriate training programs. Without adequate attention to these factors, AI systems risk underutilization or misuse, regardless of their technical performance (WHO, 2025).

4. Inequity, Safety, and Ethical Considerations

Algorithmic bias represents a critical ethical concern in AI-assisted TB diagnosis. Models trained on data that underrepresent certain populations may produce systematically less accurate predictions for those groups, potentially exacerbating existing health inequities (Obermeyer et al., 2019; Cresswell et al., 2023). This risk is especially pronounced in low-resource settings, where vulnerable populations may already face barriers to care (WHO, 2024).

Diagnostic safety is another key concern. False-negative TB predictions can delay treatment and facilitate ongoing transmission, while false-positive results may expose individuals to unnecessary testing or treatment. Consequently, AI outputs should be treated as decision-support signals rather than definitive diagnoses, with final responsibility remaining with human clinicians (WHO, 2025).

Data privacy and governance systems play a crucial role in shaping the ethical framework surrounding AI-assisted tuberculosis (TB) diagnostics. In regions where regulatory oversight is limited or poorly enforced, deficiencies in data protection practices can significantly undermine stakeholders' trust and pose substantial barriers to the widespread adoption of such technologies.

To address these challenges, privacy-preserving techniques—such as federated learning—have been developed. These methods facilitate collaborative model training and improvement across institutions without necessitating the centralized sharing of sensitive patient data, thereby balancing the needs for innovation, data security, and ethical compliance in clinical AI applications. (Guan et al., 2024).

5. Discussion and Future Directions

Current evidence suggests that AI-based TB diagnostic tools can meaningfully support frontline healthcare workers and expand access to early detection in resource-constrained regions (Qin et al., 2021; WHO, 2024). However, realizing this potential requires sustained attention to system calibration, external validation across diverse populations, and transparent explainability mechanisms that support trust.

Future research should prioritize adaptive models capable of addressing domain shift, lightweight architectures optimized for offline deployment, and human-centered design approaches that align AI systems with clinical workflows (WHO, 2025; Cresswell,2023).

Collaborative clinician–AI decision-support frameworks and privacy-aware learning paradigms represent promising directions for enhancing both effectiveness and equity (WHO, 2025; Guan et al., 2024).

6. Conclusion

AI-assisted TB diagnosis offers a powerful opportunity to address longstanding gaps in accessibility and early detection in low-resource settings. Nevertheless, these technologies must be deployed with careful attention to inequity, safety, and ethical governance. When designed and implemented as clinical decision support systems rather than autonomous decision-makers, AI tools can augment human expertise while safeguarding vulnerable populations. Continued interdisciplinary collaboration and evidence-based governance will be essential to ensuring that AI-driven TB diagnostics deliver equitable and sustainable public health benefits.

References (APA 7)

Cresswell, K., Rigby, M., Magrabi, F., Scott, P., Brender, J., Craven, C. K., Wong, Z. S.-Y., Kukhareva, P., Ammenwerth, E., Georgiou, A., Medlock, S., De Keizer, N. F., Nykänen, P., Prgomet, M., & Williams, R. (2023). The need to strengthen the evaluation of the impact of artificial intelligence–based decision support systems on healthcare provision. Health Policy, 136, 104889. https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2023.104889

Guan, H., Yap, P.-T., Bozoki, A., & Liu, M. (2024). *Federated Learning for Medical Image Analysis: A Survey* (No. arXiv:2306.05980). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.05980

Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, *366*(6464), 447–453. Qin, Z. Z., Sander, M. S., Rai, B., et al. (2021). Using artificial intelligence to read chest radiographs for tuberculosis detection: A multi-site evaluation. *The Lancet Digital Health, 3*(8), e493–e502.

World Health Organization. (2025). *Use of computer-aided detection software for tuberculosis screening and triage*. WHO.

World Health Organization. (2021). *WHO consolidated guidelines on tuberculosis: Module 2*

– *Screening*. WHO.

World Health Organization. (2024). *Global tuberculosis report 2024*. WHO.

World Health Organization/TDR. (2021). *Calibrating computer-aided detection (CAD) for TB screening*. WHO.

Yu, A. C., et al. (2022). External validation of deep learning algorithms for radiologic diagnosis. *Radiology: Artificial Intelligence*, *4*(3), e210123.

Türkçe Özet:

KOAH'IN ÖNLENEBİLİR AŞAMASINDA MULTİDİSİPLİNER YAKLAŞIMLAR: YAPAY ZEKÂ İLE ERKEN RİSK TAHMİNİ, ÇEVRESEL VE DAVRANIŞSAL ANALİZLER VE DİJİTAL SAĞLIK EKOSİSTEMLERİ

Dr. Öğretim Üyesi Denizhan DEMİRKOL (Ph.D.)

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

denizhan.demirkol@adu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-7343-9610

Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH), dünya genelinde yüksek mortalite ve morbiditeye yol açan, büyük ölçüde önlenebilir bir solunum hastalığıdır. Hastalığın erken dönemlerinde ortaya çıkan çevresel, davranışsal ve biyolojik risk faktörleri, uygun müdahalelerle modifiye edilebilir nitelikte olduğundan, erken önleme stratejileri halk sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Yapay zekâ (YZ), makine öğrenmesi ve dijital sağlık teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, KOAH'ın erken riskinin tahmin edilmesi, hedef popülasyonların belirlenmesi ve davranış değişikliği odaklı müdahalelerin optimize edilmesi için güçlü araçlar sunmaktadır. Bu bildiri, KOAH'ın önlenebilir aşamalarına yönelik multidisipliner yaklaşımları inceleyerek YZ-tabanlı erken risk tahmin modelleri, çevresel maruziyet analitiği, davranışsal risk profilleri ve dijital sağlık ekosistemlerinin entegrasyonunu bütüncül bir çerçevede ele almaktadır.

Çalışmada, sigara kullanımı, hava kirliliği, mesleki maruziyetler, fiziksel inaktivite ve genetik yatkınlık gibi risk faktörlerinin veri odaklı analizi tartışılmakta; akciğer fonksiyon bozulmasının erken evrelerini öngören makine öğrenmesi algoritmalarının potansiyeli değerlendirilmektedir. Ayrıca mobil sağlık uygulamaları, giyilebilir sensörler, uzaktan izleme platformları ve kişiselleştirilmiş dijital müdahale programlarının KOAH'ın önlenmesindeki yeri vurgulanmaktadır. Etik ve operasyonel zorluklar ise veri gizliliği, model yanlılığı, uygulama eşitsizlikleri ve klinik iş akışlarına entegrasyon başlıkları altında ele alınmaktadır.

Mevcut literatür, YZ destekli erken uyarı sistemleri ve dijital sağlık müdahalelerinin toplum düzeyinde KOAH gelişim riskini azaltmada önemli potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu teknolojilerin etkin, güvenilir ve adil biçimde uygulanabilmesi için çok merkezli validasyon çalışmalarına, açıklanabilir modellerin geliştirilmesine ve disiplinler arası işbirliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bildiri, gelecekteki araştırma yönelimlerini federated learning, çevresel veri entegrasyonu, davranışsal analitik ve kişiselleştirilmiş dijital önleme stratejileri çerçevesinde tartışarak sonlandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: KOAH, Erken Müdahale, Makine Öğrenmesi, Risk Tahmini, Dijital Sağlık

English Abstract

MULTİDİSCİPLİNARY APPROACHES TO THE PREVENTABLE STAGES OF COPD: AI-DRİVEN EARLY RİSK PREDİCTİON, ENVİRONMENTAL AND BEHAVİORAL ANALYSİS, AND DİGİTAL HEALTH ECOSYSTEMS

Assistant Professor Denizhan DEMİRKOL (Ph.D.)

Aydin Adnan Menderes University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering

denizhan.demirkol@adu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-7343-9610

Abstract:

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is a major global health burden, characterized by high morbidity and mortality despite being largely preventable. The early stages of COPD are influenced by modifiable environmental, behavioral, and biological risk factors, making prevention strategies highly impactful when implemented promptly. Advances in artificial intelligence (AI), machine learning, and digital health technologies provide powerful tools for predicting early COPD risk, identifying vulnerable populations, and optimizing behavior-focused preventive interventions. This paper examines multidisciplinary approaches to the preventable stages of COPD by integrating AI-driven early risk prediction models, environmental exposure analytics, behavioral risk profiling, and emerging digital health ecosystems into a unified framework.

The study highlights data-driven analyses of key risk determinants such as tobacco use, air pollution, occupational exposures, physical inactivity, and genetic susceptibility, while evaluating the potential of machine learning algorithms for forecasting early declines in lung function. Additionally, it explores the role of mobile health applications, wearable sensors,

remote monitoring platforms, and personalized digital intervention programs in supporting preventive efforts. Ethical and operational challenges—including data privacy, algorithmic bias, implementation inequities, and workflow integration barriers—are critically discussed.

Current evidence suggests that AI-enabled early warning systems and digital health interventions hold significant promise in reducing population-level COPD risk. However, effective, reliable, and equitable deployment requires multicenter validation studies, development of explainable models, and robust interdisciplinary collaboration. The paper concludes by outlining future research directions involving federated learning, integration of high-resolution environmental data, advanced behavioral analytics, and personalized digital prevention strategies aimed at mitigating the onset of COPD in at-risk populations.

Keywords: COPD, Early Prevention, Machine Learning, Risk Prediction, Digital Health

1. INTRODUCTION

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is among the leading causes of morbidity and mortality worldwide and continues to impose a substantial and growing global health burden (WHO, 2024; GOLD, 2024). Despite advances in pharmacological treatment and pulmonary rehabilitation, COPD remains largely preventable, particularly during its early and preclinical stages when modifiable risk factors exert the greatest influence on disease onset and progression (Lange et al., 2015; GOLD, 2024). Epidemiological studies indicate that a large proportion of individuals with early airflow limitation remain undiagnosed, delaying preventive action and allowing irreversible lung damage to accumulate over time (Soriano et al., 2018; GOLD, 2024).

Population-level evidence suggests that early identification of individuals at elevated risk can significantly reduce long-term disease burden, healthcare utilization, and premature mortality (WHO, 2024; Burnett et al., 2018). In this context, prevention-oriented strategies that operate upstream of symptomatic disease are increasingly recognized as critical components of effective COPD control (GOLD, 2024). Advances in artificial intelligence (AI), machine learning, and digital health technologies have expanded the analytical capacity to integrate heterogeneous data sources and support proactive risk identification in chronic respiratory disease (Topalovic et al., 2019). On the other hand, the recognition of COPD as a syndrome composed of multiple treatable traits provides a strong rationale for personalized prevention strategies rather than one-size-fits-all interventions (Agustí et al., 2018). Thus, there is a growing need for analytical frameworks capable of integrating heterogeneous clinical, behavioral, and environmental data to support stratified and preventive approaches in COPD.

Recent advances in artificial intelligence and machine learning provide promising tools to address this challenge.

From an information systems perspective, AI-enabled approaches shift COPD management toward algorithmically supported clinical decision-making, where automated systems assist clinicians in risk stratification and preventive planning under uncertainty rather than replacing established diagnostic workflows (Cresswell et al., 2023; GOLD, 2024).

2. PREVENTABLE STAGES OF COPD: KEY RISK FACTORS

2.1 Tobacco Use and Behavioral Determinants

Tobacco smoking remains the most important preventable risk factor for COPD, accounting for a substantial proportion of disease incidence and progression globally (WHO, 2024; GOLD, 2024). Longitudinal cohort studies demonstrate that cumulative smoking exposure is strongly associated with accelerated lung function decline and earlier COPD onset, even before clinical symptoms become apparent (Lange et al., 2015). Behavioral determinants such as continued smoking, physical inactivity, and poor adherence to preventive health behaviors further increase vulnerability during early disease stages (GOLD, 2024).

2.2 Environmental and Occupational Exposures

Environmental air pollution is a major contributor to COPD risk, particularly in low- and middle-income countries where exposure to fine particulate matter ($PM_{2.5}$) and household air pollution remains high (WHO, 2024; Burnett et al., 2018). Global Burden of Disease analyses show that long-term $PM_{2.5}$ exposure significantly increases COPD incidence and mortality independent of smoking status (Burnett et al., 2018; Cohen et al., 2017). Occupational exposures to dusts, fumes, and chemical agents also play a significant role in COPD development, especially in mining, construction, and manufacturing sectors (Balmes et al., 2005; Blanc et al., 2019).

2.3 Biological Susceptibility and Early Functional Decline

Biological susceptibility to COPD is shaped by genetic predisposition, early-life lung development, and comorbid respiratory conditions (GOLD, 2024; Lange et al., 2015). Evidence suggests that reduced peak lung function achieved in early adulthood predisposes individuals to COPD later in life, even in the absence of heavy smoking exposure (Lange et al., 2015; Agustí et al., 2018). Early spirometric decline, therefore, represents a critical warning signal and a key target for preventive risk prediction (Topalovic et al., 2019; GOLD, 2024).

3. AI-DRIVEN EARLY RISK PREDICTION IN COPD

Machine learning techniques have demonstrated strong potential for identifying individuals at increased risk of COPD before clinically overt disease develops (Topalovic et al., 2019). Models trained on spirometric indices, demographic characteristics, smoking history, and comorbidity profiles can detect subtle patterns of early functional decline that may be missed in routine clinical practice (Topalovic et al., 2019). Comparative studies suggest that supervised learning approaches outperform traditional rule-based screening strategies in predicting future airflow limitation (Lange et al., 2015; Topalovic et al., 2019).

Beyond spirometry, multimodal AI frameworks increasingly integrate electronic health records, imaging data, and longitudinal physiological signals to improve early detection accuracy and robustness (Cresswell et al., 2023). Such systems support risk stratification by categorizing individuals into differentiated risk tiers, enabling targeted preventive interventions rather than uniform population-wide screening (GOLD, 2024; WHO, 2024). From a decision support perspective, these tools augment clinician judgment under uncertainty while preserving human accountability (Cresswell et al., 2023).

4. ENVIRONMENTAL AND BEHAVIORAL ANALYTICS FOR PREVENTION

Environmental analytics enable the integration of high-resolution air pollution data, geospatial information, and occupational exposure records into predictive models that capture context-specific COPD risk (Burnett et al., 2018; Cohen et al., 2017). Behavioral analytics further enhance prevention by modeling dynamic risk factors such as smoking intensity, physical activity patterns, and adherence to protective behaviors (WHO, 2024). Machine learning applied to behavioral data collected via surveys, mobile applications, and wearable sensors has shown promise in tailoring preventive interventions and identifying individuals at risk of rapid lung function decline (Milne-Ives et al., 2020; Vorrink et al., 2016).

Integrated environmental–behavioral analytics support personalized prevention strategies that align intervention intensity with individual risk profiles, thereby improving efficiency and equity (Burnett et al., 2018; Cresswell et al., 2023). However, their effectiveness depends on

data accessibility, interoperability, and alignment with existing healthcare workflows (WHO, 2019; Cresswell et al., 2023).

5. DIGITAL HEALTH ECOSYSTEMS FOR COPD PREVENTION

Digital health ecosystems—including mobile health applications, wearable sensors, telemonitoring platforms, and remote behavioral interventions—are increasingly recognized as scalable infrastructures for prevention-oriented COPD care (WHO, 2019). Evidence suggests that digital self-management and monitoring tools can support behavior change, symptom awareness, and physical activity promotion, although outcome heterogeneity remains substantial (McCabe et al., 2017; Alwashmi et al., 2016; Vorrink et al., 2016).

From an information systems perspective, digital health functions as a socio-technical system in which value emerges through coordination among data capture, analytics, and care delivery processes (WHO, 2019; Cresswell et al., 2023). Accordingly, preventive digital health for COPD requires interoperable data flows and governance mechanisms that translate digital signals into actionable preventive responses (WHO, 2019).

6. ETHICAL, EQUITY, AND IMPLEMENTATION CHALLENGES

Ethical and equity considerations are central to AI-enabled COPD prevention, as algorithmic systems may amplify existing disparities when trained on biased data or deployed in inequitable healthcare contexts (Obermeyer et al., 2019; WHO, 2019). Algorithmic bias can arise from underrepresentation of vulnerable populations, reliance on proxy variables reflecting unequal access, and insufficient subgroup validation (Obermeyer et al., 2019; Cresswell et al., 2023). Privacy and data governance challenges are particularly salient in prevention-oriented digital ecosystems that rely on continuous behavioral and environmental data streams (WHO, 2019).

Federated learning and other privacy-preserving approaches have been proposed to support collaborative model development without centralized data sharing, although these methods introduce additional security and governance considerations (Pati et al., 2024). Implementation barriers are often socio-technical rather than computational, including workflow misalignment, limited digital literacy, and unclear accountability for AI-supported decisions (Cresswell et al., 2023).

7. DISCUSSION AND CONCLUSION

Current evidence indicates that prevention-focused COPD strategies can be strengthened through the integration of AI-driven early risk prediction, environmental and behavioral

analytics, and digitally mediated interventions targeting modifiable risk factors (GOLD, 2024; WHO, 2024). In addition, evidence increasingly suggests that early disease trajectories in COPD differ substantially across individuals, underscoring the need for stratified approaches to prevention (Agustí et al., 2018). However, reliable and equitable deployment requires external validation across diverse populations, explainable models, and evaluation frameworks that capture real-world socio-technical performance (Cresswell et al., 2023; WHO, 2019).

Future research should prioritize explainable and context-aware AI models, integration of high-resolution environmental exposure data, advanced behavioral analytics, and privacy-preserving learning paradigms that support cross-institutional collaboration (Burnett et al., 2018; Pati et al., 2024; Cresswell et al., 2023). Overall, multidisciplinary prevention of COPD will be most effective when AI and digital health technologies are implemented as decision support infrastructures aligned with clinical workflows, equity principles, and evidence-based governance.

REFERENCES

Agusti, A., Faner, R., Celli, B., & Rodriguez-Roisin, R. (2018). Precision medicine in COPD exacerbations. *The Lancet Respiratory Medicine*, *6*(9), 657–659. https://doi.org/10.1016/S2213-2600(18)30296-0

Alwashmi, M., Hawboldt, J., Davis, E., Marra, C., Gamble, J.-M., & Abu Ashour, W. (2016). The Effect of Smartphone Interventions on Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease Exacerbations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JMIR mHealth and uHealth*, *4*(3), e105. https://doi.org/10.2196/mhealth.5921

Balmes, J. R. (2005). Occupational Contribution to the Burden of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, *47*(2), 154–160. https://doi.org/10.1097/01.jom.0000152923.07801.e1

Blanc, P. D., Annesi-Maesano, I., Balmes, J. R., Cummings, K. J., Fishwick, D., Miedinger, D., Murgia, N., Naidoo, R. N., Reynolds, C. J., Sigsgaard, T., Torén, K., Vinnikov, D., & Redlich, C. A. (2019). The Occupational Burden of Nonmalignant Respiratory Diseases. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society

Statement. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *199*(11), 1312–1334. https://doi.org/10.1164/rccm.201904-0717ST

Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C. A., Apte, J. S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di, Q., Brunekreef, B., Frostad, J., Lim, S. S., Kan, H., Walker, K. D., Thurston, G. D., Hayes, R. B., … Spadaro, J. V. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(38), 9592–9597. https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115

Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., … Forouzanfar, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, *389*(10082), 1907–1918. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6

Cresswell, K., Rigby, M., Magrabi, F., Scott, P., Brender, J., Craven, C. K., Wong, Z. S.-Y., Kukhareva, P., Ammenwerth, E., Georgiou, A., Medlock, S., De Keizer, N. F., Nykänen, P., Prgomet, M., & Williams, R. (2023). The need to strengthen the evaluation of the impact of Artificial Intelligence-based decision support systems on healthcare provision. *Health Policy*, *136*, 104889. https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2023.104889

Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. (2024). Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease (2024 report). https://goldcopd.org

Lange, P., Celli, B., Agustí, A., Boje Jensen, G., Divo, M., Faner, R., Guerra, S., Marott, J. L., Martinez, F. D., Martinez-Camblor, P., Meek, P., Owen, C. A., Petersen, H., Pinto-Plata, V., Schnohr, P., Sood, A., Soriano, J. B., Tesfaigzi, Y., & Vestbo, J. (2015). Lung-Function Trajectories Leading to Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *New England Journal of Medicine*, *373*(2), 111–122. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1411532

McCabe C, McCann M, Brady AM. Computer and mobile technology interventions for self-management in chronic obstructive pulmonary disease. Cochrane Database of Systematic Reviews 2017, Issue 5. Art. No.: CD011425. DOI: 10.1002/14651858.CD011425.pub2.

Milne-Ives, M., Lam, C., De Cock, C., Van Velthoven, M. H., & Meinert, E. (2020). Mobile Apps for Health Behavior Change in Physical Activity, Diet, Drug and Alcohol Use, and Mental Health: Systematic Review. *JMIR mHealth and uHealth*, *8*(3), e17046. https://doi.org/10.2196/17046

Pati, S., Kumar, S., Varma, A., Edwards, B., Lu, C., Qu, L., Wang, J. J., Lakshminarayanan, A., Wang, S., Sheller, M. J., Chang, K., Singh, P., Rubin, D. L., Kalpathy-Cramer, J., & Bakas, S. (2024). Privacy preservation for federated learning in health care. *Patterns*, *5*(7), 100974. https://doi.org/10.1016/j.patter.2024.100974

Soriano, J. B., Kendrick, P. J., Paulson, K. R., Gupta, V., Abrams, E. M., Adedoyin, R. A., Adhikari, T. B., Advani, S. M., Agrawal, A., Ahmadian, E., Alahdab, F., Aljunid, S. M., Altirkawi, K. A., Alvis-Guzman, N., Anber, N. H., Andrei, C. L., Anjomshoa, M., Ansari, F., Antó, J. M., … Vos, T. (2020). Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Respiratory Medicine*, *8*(6), 585–596. https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30105-3

Topalovic, M., Das, N., Burgel, P.-R., Daenen, M., Derom, E., Haenebalcke, C., Janssen, R., Kerstjens, H. A. M., Liistro, G., Louis, R., Ninane, V., Pison, C., Schlesser, M., Vercauter, P., Vogelmeier, C. F., Wouters, E., Wynants, J., & Janssens, W. (2019). Artificial intelligence outperforms pulmonologists in the interpretation of pulmonary function tests. *European Respiratory Journal*, *53*(4), 1801660. https://doi.org/10.1183/13993003.01660-2018

WHO guideline: recommendations on digital interventions for health system strengthening. Geneva: World Health Organization; 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Vorrink, S. N. W., Kort, H. S. M., Troosters, T., Zanen, P., & Lammers, J.-W. J. (2016). Efficacy of an mHealth intervention to stimulate physical activity in COPD patients after pulmonary rehabilitation. *European Respiratory Journal*, *48*(4), 1019–1029. https://doi.org/10.1183/13993003.00083-2016

Ziad Obermeyer et al. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations.Science366,447-453(2019).DOI:10.1126/science.aax2342

SHORT-TERM ELECTRICITY CONSUMPTION FORECASTING USING XGBOOST WITH CALENDAR FEATURES

Dr.Öğr.Üyesi İlkay Sibel KERVANCI
Gaziantep Üniversitesi
skervanci@gantep.edu.tr -0000-0001-5547-1860

ABSTRACT

Accurate short-term electricity consumption forecasting is essential for reliable, energy planning, and demand side management. In this paper, an XGBoost based regression algorithm is employed to predict hourly electricity consumption. The dataset consists of historical electricity records indexed by date were extracted. To better reflect real world forecasting conditions, a strictly time based dataset splitting strategy was adopted instead of random sampling, reserving the last 90 days for testing. In order to prevent information leakage, model optimization and early stopping were performed using an internal validation set that was strictly separated from the final test period. Model performance was evaluated using multiple error metrics, including Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), symmetric MAPE (sMAPE), Weighted Absolute Percentage Error (WAPE), and the coefficient of determination (R^2). All performance metrics were computed exclusively on unseen test data to ensure an unbiased assessment of the model's generalization capability. Experimental results demonstrate that the proposed model achieves an RMSE of 420.06 MWh, MAE of 339.28 MWh, and a WAPE of 5.18% on the test set, indicating strong predictive accuracy for short-term electricity demand forecasting. The model explains approximately 80% of the variance in unseen data (R^2 = 0.799), while maintaining a low normalized RMSE of 0.064.

These findings suggest that gradient boosting models combined with simple temporal features can provide reliable and computationally efficient solutions for short-term electricity consumption forecasting. Future work will focus on incorporating lagged demand variables, weather data, and holiday indicators to further improve forecasting accuracy.

Keywords: Electricity Consumption Forecasting, Short-Term Load Forecasting, XGBoost, Time Series Prediction, Energy Demand Modeling

1. INTRODUCTION

Sustainable development agendas increasingly emphasize the need for efficient energy use, driven by concerns over limited fossil fuel resources, climate change impacts, and escalating environmental pressures. Accurate forecasting of electricity demand plays a crucial role in addressing challenges such as the depletion of fossil fuels, variability in consumption patterns, and the integration of renewable energy sources into modern power systems. Improved load forecasting enables more efficient planning of generation, distribution, and grid operation, while also contributing to climate change mitigation by optimizing energy usage and reducing excess capacity needs [1]. In this context, effective planning for energy management and accurate forecasting of electricity consumption are essential for optimizing operation, balancing supply and demand, and minimizing costs for both utilities and consumers. Previous research has shown that reliable forecasting of average daily and peak electrical load can be achieved using historical electricity consumption data, emphasizing the strong link between consumption patterns and load Dynamics [2].

With the rapid growth of smart metering and digital energy infrastructures, vast amounts of time series consumption data have become available, enabling advanced data driven analysis. Predictive distribution plans for consumers and utilities can be significantly improved by leveraging data mining based models, among which machine learning (ML) techniques, especially those capable of handling complex seasonal and nonlinear patterns have gained considerable attention recently.

Recent studies in electricity consumption forecasting have demonstrated the effectiveness of various ML methods across different domains. For Beloev et al. explore the use of gradient boosting via XGBoost for short-term electrical load forecasting, highlighting the advantages of model tuning and extended evaluation metrics compared to traditional statistical approaches [3]. Similarly, they are emphasize the role of sustainable, data driven ML systems in predicting appliance energy usage, advocating for predictive analytics as a key component of modern energy management strategies [4]. Additionally, neural network based approaches, such as Long Short Term Memory (LSTM) models, have also been applied to short-term energy consumption forecasting with competitive performance, demonstrating the versatility of deep learning methods in capturing temporal dependencies [5],[6]. Comparative analyses that include XGBoost, Random Forest (RF), and deep models further underline the broad applicability and high accuracy of ML techniques in this field [7]. Recent comparative studies on household electricity consumption forecasting indicate that both traditional time-series models and machine learning-based approaches can achieve competitive performance,

depending on the temporal characteristics of the data. In particular, machine learning models have demonstrated superior capability in capturing nonlinear consumption patterns and complex seasonal effects when sufficient historical data are available [8].

In the current study, we adopt a similar ML perspective, utilizing an XGBoost regression model to forecast hourly electricity consumption. The dataset employed in this work is a publicly available electricity time-series dataset, which provides detailed records of historic consumption values indexed by date and time, along with calendar features and has been previously explored in exploratory dataset analysis on Kaggle [9]. By incorporating temporal features such as hour, day of week, and month, and by employing a strictly time-based train-test split, the proposed methodology aims to reflect real world forecasting conditions and avoid information leakage between training and evaluation stages.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, a publicly available electricity consumption time-series dataset obtained from Kaggle was used for model development and evaluation. The dataset contains historical hourly electricity consumption records indexed by date and time. The timestamp information was converted into a datetime format and used as the temporal index. The target variable was defined as Consumption, while the Production attribute was excluded from the analysis to focus solely on demand forecasting.

To capture temporal patterns and seasonality in electricity consumption, calendar-based features were derived from the datetime index, including hour of day, day of week, day of year, month, and year. A strictly time-based data splitting strategy was adopted to reflect real-world forecasting conditions. Specifically, the final 90 days of the dataset were reserved as the test set, while the remaining historical data were used for model training. An internal validation set was created from the last 30 days of the training period and was used exclusively for early stopping to prevent overfitting and information leakage. No data normalization or scaling was applied, as tree based models such as XGBoost are insensitive to feature scaling. Electricity consumption forecasting was formulated as a supervised regression problem and modeled using the XGBoost regression algorithm, a scalable gradient boosting framework based on decision trees [10].

Electricity consumption forecasting was formulated as a supervised regression problem and modeled using the XGBoost regression algorithm. The model was trained using gradient boosting with decision trees and optimized using early stopping based on validation performance. Model evaluation was conducted exclusively on the unseen test set using multiple error metrics, including MSE, RMSE, MAE, MAPE, sMAPE, WAPE, the coefficient of

determination (R^2), and normalized RMSE (nRMSE). In addition, visual analyses were performed to compare actual and predicted consumption values, analyze residual errors, and assess feature importance.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The predictive performance of the proposed XGBoost algorithm was evaluated on the test dataset corresponding to the final 90 day period. Table 1 summarizes the obtained error metrics.

Table 1. XGBoost test results for metrics

Test Metrics	Test Results
MSE	176,448.1562
RMSE	420.0573
MAE	339.2827
MAPE%	5.211
sMAPE%:	5.206
WAPE%	5.182
R^2	0.7987
nRMSE	0.0642

Table 1 obtained WAPE value of approximately 5% is consistent with recent short-term electricity consumption forecasting studies based on ML models.

Table 2 presents a small sample of test set predictions for illustrative purposes, demonstrating the correspondence between actual and predicted electricity consumption values.

Table 2. XGBoost test prediction for 5 hours

	Actual	Predicted	Residual	AbsError
2024-01-01 23:00:00	4994	5663.065918	-669.065918	669.065918
2024-01-02 00:00:00	4780	5137.967773	-357.967773	357.967773
2024-01-02 01:00:00	4626	4991.392090	-365.392090	365.392090
2024-01-02 02:00:00	4534	4875.885254	-341.885254	341.885254
2024-01-02 03:00:00	4459	4770.608887	-311.608887	311.608887

Figure 1 illustrates the comparison between actual and predicted electricity consumption values over the test period. The model successfully captures the overall demand trend and daily consumption patterns. Minor deviations are observed during low-demand night hours, where the model tends to slightly overestimate consumption. This behavior is commonly reported in short-term load forecasting studies and is attributed to rapid demand transitions.

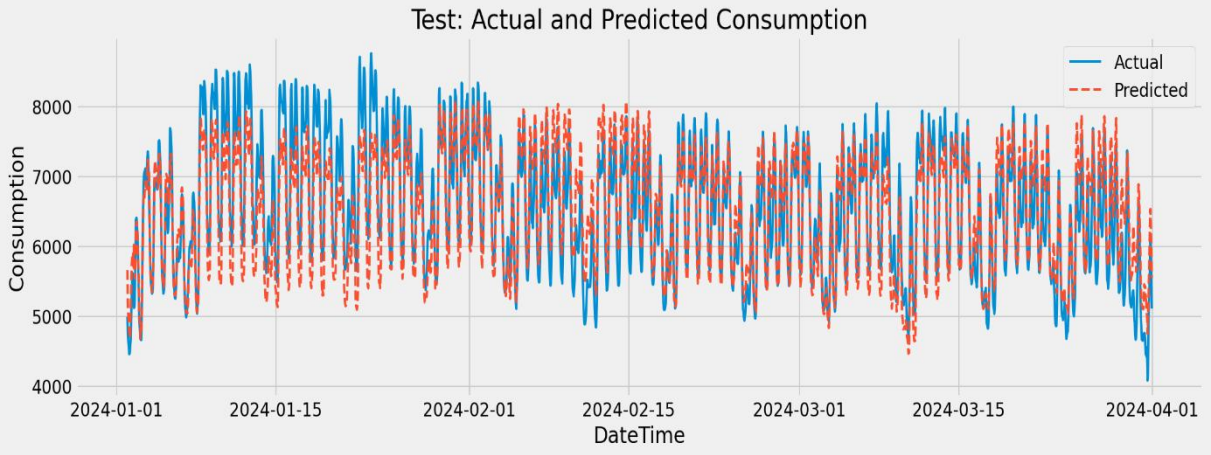


Figure 1. Comparison of actual and predicted hourly electricity consumption over the test period

Figure 2 presents the residual error distribution, which is approximately symmetric and centered around zero, indicating the absence of systematic bias. Furthermore, the scatter plot of actual versus predicted values (Figure 3) shows a strong linear relationship, confirming the robustness of the model across different demand levels.

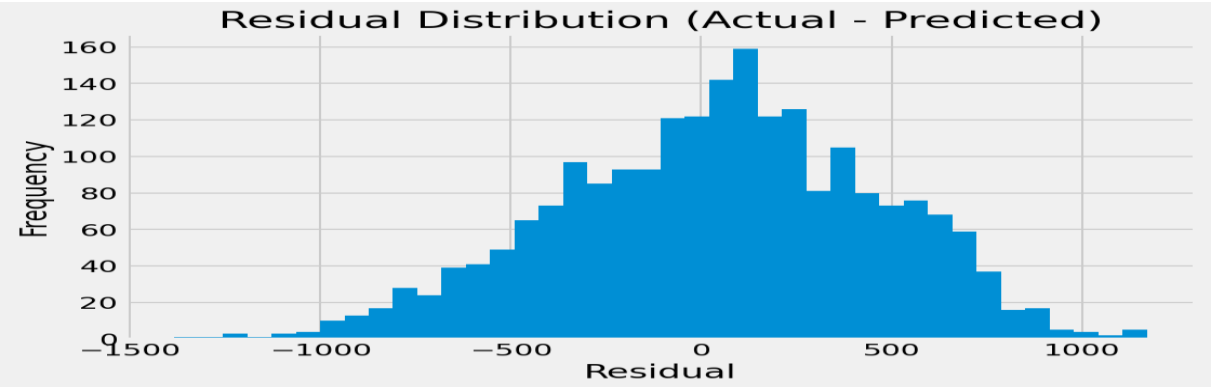


Figure 2. Residual error distribution of electricity consumption predictions on the test dataset

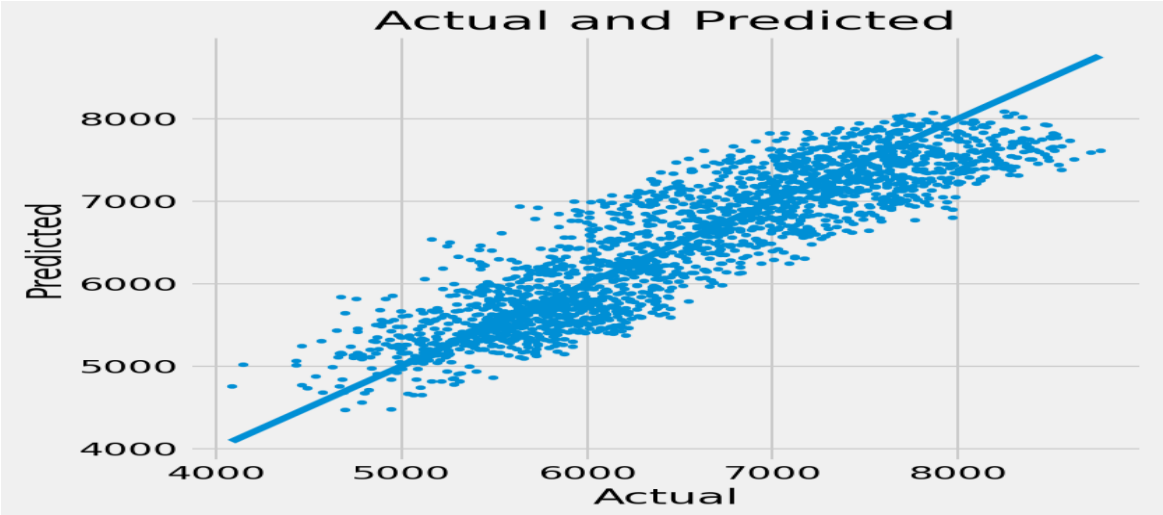


Figure 3. Actual and predicted electricity consumption scatter for test dataset

The effectiveness of renewable energy deployment is closely linked to national financial policies and incentive structures, which shape investment decisions and lon -term energy planning strategies [11].

4. CONCLUSION

This paper demonstrated the effectiveness of an XGBoost algorithms for regression model , to short term electricity consumption forecasting using only calendar derived temporal features. The proposed approach achieved a WAPE of approximately 5% and explained nearly 80% of the variance in unseen test dataset, highlighting its strong generalization capability. The results confirm that gradient boosting models provide a reliable and computationally efficient solution for operational electricity demand forecasting. Future research will investigate the integration of lagged consumption variables, meteorological factors, and holiday effects to further enhance prediction accuracy.

KAYNAKÇA

1. Mallala, B., Ahmed, A. I. U., Pamidi, S. V., Faruque, M. O. and Reddy, R., Forecasting Global Sustainable Energy from Renewable Sources Using Random Forest Algorithm, Results in Engineering, 25, 103789, 2025.
2. Tavarov, S., Sidorov, A. and Glotova, N., Forecasting Average Daily and Peak Electrical Load Based on Average Monthly Electricity Consumption Data, Electricity, 6(2), 26, 2025.
3. Beloev, H. I., Saitov, S. R., Filimonova, A. A., Chichirova, N. D. and Iliev, I. K., Short-Term Electrical Load Forecasting Based on XGBoost Model, Energies, 18(19), 5144, 2025.

4. Altayeb, M. and Arabiat, A., A Sustainable System for Predicting Appliance Energy Consumption Based on Machine Learning, Journal of Environmental Management, 382, 2025.
5. Slowik, M., Machine Learning Short-Term Energy Consumption Forecasting Using LSTM Networks, Energies, 15(9), 3382, 2022.
6. Hochreiter, S. and Schmidhuber, J., Long Short-Term Memory, *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780, 1997.
7. Tümse, S., LSTM, XGBoost and Random Forest Models in Forecasting Current and Future Electricity Consumption in Türkiye, KSU Journal of Engineering Sciences, 2025.
8. Bilal, M., Kim, H., Fayaz, M. and Pawar, P., Comparative Analysis of Time Series Forecasting Approaches for Household Electricity Consumption Prediction, arXiv preprint arXiv:2207.01019, 2022. https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.01019
9. Kaggle, EDA for Electricity Time Series, https://www.kaggle.com/code/mayuringle8890/eda-for-electricity-time-series, (Erişim tarihi: 18.12.2025).
10. Chen, T. and Guestrin, C., XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794, San Francisco, 2016.
11. Ay, H. M., Financial Policies Implemented in the Field of Renewable Energy in Turkey, International Journal of Business and Management Invention (IJBMI), 14(6), 99–107, June, 2025.

EĞİTİMİN MERKEZİYETSİZLEŞTİRİLMESİ: DİPLOMA VE TRANSKRİPT YÖNETİMİNDE GÜVEN VE VERİMLİLİK

Dr.Öğr.Üyesi İlkay Sibel KERVANCI
Gaziantep Üniversitesi
skervanci@gantep.edu.tr -0000-0001-5547-1860

ÖZET

Diploma ve transkriptlerin güvenli biçimde doğrulanması, artan uluslararası öğrenci ve iş gücü hareketliliği ile birlikte yükseköğretim kurumları için önemli bir sorun haline gelmiştir. Geleneksel doğrulama süreçleri çoğunlukla merkezi yapılara dayanmakta, uzun zaman almakta ve yüksek idari maliyetler oluşturmaktadır. Bu durum, sahte diploma vakalarının artmasına ve mezunların iş gücüne katılım süreçlerinin yavaşlamasına neden olmaktadır. Blok zinciri teknolojisi, değiştirilemezlik ve merkeziyetsizlik özellikleri sayesinde bu problemlere potansiyel bir çözüm sunmaktadır. Ancak literatürdeki mevcut çalışmaların büyük bölümü kavramsal düzeyde kalmakta, kamuya açık blok zincirlerinde yüksek maliyetli çözümler önermekte veya sınırlı prototiplerle test edilmektedir. Bu çalışma, diploma ve akademik kayıtların güvenli, hızlı ve uluslararası düzeyde doğrulanmasını sağlamak amacıyla, European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) ve Kendi Egemen Kimlik (Self-Sovereign Identity, SSI) ilkeleriyle uyumlu bütünleşik bir blok zinciri mimarisi önermektedir. Önerilen yapı, üniversitelerin diplomaları kriptografik olarak güvence altına alarak yayınlamasına, mezunların ise bu belgeleri üçüncü taraflara ihtiyaç duymadan anında doğrulatabilmesine olanak tanımaktadır. Sistem, birlikte çalışabilirlik, veri gizliliği ve sınır ötesi tanınırlık gereksinimlerini dikkate alacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmanın temel katkısı, Türkiye'deki yükseköğretim kurumları tarafından verilen diplomaların güvenliğini ve küresel kabul edilebilirliğini artırmaya yönelik, EBSI uyumlu bir referans mimari sunmasıdır. Bu yaklaşım, doğrulama sürelerini saniyelere indirerek idari yükleri azaltmayı ve akademik belgelerde güveni artırmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Blok zinciri, diploma doğrulama, EBSI, kendi egemen kimlik, akademik sertifikalar

1. GİRİŞ

Eğitim kurumlarının en büyük zorluklarından biri, mezuniyet sonrası diploma ve transkriptlerin güvenliğinin ve küresel doğrulamasının sağlanmasıdır. Sertifikalar,

genellikle basılı veya kart üzerine basılı olup, öğrenmenin gerçekleştiğini kanıtlar ve bireyin eğitim ve profesyonel gelişiminde kritik bir rol oynar. Küreselleşen iş dünyasında, farklı ülkelerde ofis açan şirketlerin sayısındaki artış veya bireylerin yurtdışında çalışma, eğitim fırsatlarının çoğalması; özellikle COVID-19 pandemisiyle hızlanan ve bireylerin aynı ülke içinde bile farklı konumlardan veya uluslararası alandan uzaktan çalışma modelleriyle istihdam edilmeye başlanmasıyla birlikte, bu tür belgelerin güvenilirliğinin sağlanması küresel doğrulama açısından artık olmazsa olmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Sahtecilik ve uzun süren idari süreçler, mezunların iş gücüne katılımını yavaşlatmaktadır. Örneğin, ABD ve Kanada'da geçerli belge hazırlayan bir kuruluş olan World Education Services (WES), tek bir diploma doğrulaması için 176 dolardan başlayan maliyetler talep etmekte ve bu süreç yaklaşık bir ay sürmektedir [1]. Genel doğrulama süreçlerindeki bu maliyet ve zaman kaybı, küresel iş piyasasının hızına ayak uydurmakta zorlanmaktadır. Bu sorunların başında küresel çaptaki sahte diploma pazarı gelmektedir. Belgelerdeki sahtecilik, dünya çapında milyar dolarlık bir pazara ulaşmış; bu durum birçok yayın organında küresel bir salgın olarak tanımlanmıştır. The Association for International Credential Evaluation Professionals (TAICEP)'in 2015 verilerine göre, o dönemde 197 ülkeden yaklaşık 217.000 kişinin sahte belge aldığı ve bu pazarın 140 milyon dolarlık bir hacme ulaştığı tespit edilmiş olsa da [2], güncel çalışmalar sertifika sahteciliğinin dünya genelinde hala çok yüksek seyrettiğini ve teknolojik gelişmelerle birlikte bu belgeleri çevrimiçi edinmenin kolaylaştığını göstermektedir. Türkiye'deki birçok üniversite kendi web sayfaları üzerinden doğrulama mekanizmaları sunsa da (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi [3], Sakarya Üniversitesi [4], vb.), Bahçeşehir Üniversitesi'nin CertifyIST [5] uygulaması hariç, genellikle blok zinciri gibi kurcalamaya karşı dayanıklı (tamper-resistant) bir yapı kullanılmamaktadır. Mevcut blok zinciri çözümleri de sınırlıdır: Blockcert ve BCDiploma gibi çözümler mevcut olsa da, Blockcert'in ihraç eden kurumun kimliğini doğrulama mekanizmasındaki zayıflıklar eleştirilmektedir. Ayrıca, birçok çalışma yalnızca kendi kurumları (The University of Nicosia) veya bölgesel kurumlar için çözüm önermektedir [6]. Bu nedenle, dünya çapındaki tüm sertifikaların güvenilirliğinin hükümetler, eğitim kurumları ve profesyonel kuruluşlar tarafından ortak bir ağda buluştuğu entegre bir blok zinciri yapısı halen eksiktir.

Bu çalışmanın ana fikri, mevcut güven ve hız sorunlarını çözmek için merkeziyetsizlikten yararlanmaktır. Blok zincirini, verilerin değiştirilmesinin fiziksel olarak imkansız olduğu, güvenilir bir üçüncü taraf olmaksızın tarafların işlem yapmasını sağlayan, dağıtık,

kronolojik olarak sıralanmış bir defter olarak tanımlıyoruz. Çözümümüz, sadece diploma, transkript ve sertifika bilgilerinin bir blok zinciri ağına değiştirilemez olarak yazılmasına odaklanmaktadır. Blok zinciri, dağıtık yapısı sayesinde, bir kaydın bir kez oluşturulduktan sonra bileşenler (üniversiteler, öğrenciler, işverenler) arasında geri alınamaz, şeffaf ve anında doğrulanabilir olmasını sağlar. Bu bağlamda, bu çalışmada önerilen mimari, European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) standartlarına uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır. EBSI, Avrupa çapında sınır ötesi dijital hizmetler için blok zinciri kullanımını teşvik eden bir inisiyatiftir ve Kendi Egemen Kimliği (SSI) ilkelerini benimser [7]. Bu uyum, makalemizin temel farklılaştırıcısıdır ve kaydın yerel bir çözüm yerine, AB çapında resmi olarak tanınabilir bir altyapı ile uyumlu olmasını hedefler. Bu çalışma, mevcut sahtecilik riskleri ve uzun doğrulama süreçleri sorununa somut bir çözüm önererek, eğitim kayıtlarının EBSI uyum standartlarında blok zincirlerde tutulmasını önermektedir. Bu sayede, Türkiye'den alınmış diplomaların güvenliği ve küresel güvenirliğinin artırılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda makale, aşağıdaki temel amaçlara ulaşmayı ve bilimsel katkıyı sağlamayı hedeflemektedir:

İlk olarak, kayıtların kriptografik yöntemlerle korunması sayesinde sahteciliğe karşı mutlak güvenliğini sağlamak; ikinci olarak, idari süreçleri ortadan kaldırarak doğrulama sürecini günlerden saniyelere indirmek ve böylece idari maliyetleri ve zaman kaybını sıfırlamak. En önemlisi, önerilen sistemin EBSI uyumlu temel gereksinimlerini belirleyerek, küresel bir standart oluşturma çabasına katkı sağlamaktır. Bu yaklaşım sayesinde, kişisel kariyer kayıtlarının doğru, hızlı ve değiştirilmemiş olduğunu kanıtlamak kolaylaşacak; anonimleştirilmiş sertifika doğrulama sayıları gibi istatistiksel verilere erişim de mümkün olacaktır. Sonuç olarak, bu makale eğitimdeki diploma sorunlarını (sahte diploma, zaman ve para kaybı) çözmek için kullanılacak blok zinciri altyapısının ana hatlarını ve EBSI çerçevesinde uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Blok zincirinin anonimlik, merkeziyetsizlik ve kurcalanamazlık gibi özellikleri nedeniyle son on yılda popüler bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu özellikler sayesinde, blok zinciri eğitim alanında diploma sahteciliği ve ülkeler arası doğrulama süreçlerinde yaşanan maliyet ve zaman kaybı sorunlarına bir çözüm olarak görülmektedir. Literatürdeki çalışmalar, blok zinciri altyapısını sertifika yönetimine entegre etmeye odaklanmıştır:

Erken Uygulamalar: The University of Nicosia, MOOC, profesyonel eğitim ve yüksek lisans derecelerine ait sertifikalarını yönetmek için blok zinciri altyapısını uygulayan ilk

okullardan biridir. Holberton School ise diplomaları depolamak için blok zinciri altyapısını kullanan ilk enstitüdür [6].

Hash ve QR Kod Tabanlı Modeller: Bazı modeller, basılı sertifikadaki bilgilerin hash değerini hesaplayıp blok zincirine eklemeyi önermektedir. Sertifikanın orijinalliğini sorgulamak için, basılı belgeye bir QR kod eklenmesi ve bu kod okunduğunda web üzerinden sertifika bilgilerine ulaşılması tavsiye edilmektedir [3],[4].

Blockcerts: Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) Medya Laboratuvarı tarafından geliştirilen açık kaynaklı proje olan "Blockcerts", blok zinciri tabanlı sertifikalar oluşturmayı, yayınlamayı ve doğrulamayı amaçlamaktadır. Blockcerts açık kaynaklı olmasına rağmen, sertifikayı yayınlayanın bir veya daha fazla sertifika bilgisini blok zincirine yüklemesi gerektiği için maliyetlidir. Blockcerts sisteminin, yayıncı kimlik doğrulamasının çevrimiçi bulunan kimliği doğrulanmamış bir profile dayandığı için, ihraç eden kurumu doğrulamak için güçlü bir mekanizma sağlamadığı analiz edilmiştir. Bu durum, Blockcerts'in sertifika doğrulama prosedürlerinin, saldırganın yasal bir yayıncıyı taklit ederek sahte akademik kimlik bilgileri oluşturabilmesine neden olabilecek bir kimlik taklidi saldırısına karşı savunmasız olduğunu göstermektedir.

Bu erken ve sınırlı çözümlerin ötesinde, son yıllardaki akademik çalışmalar; merkezi bir standartlaşma, daha düşük işlem maliyeti ve artırılmış veri gizliliği (privacy) ihtiyacına odaklanmış, ancak bu çalışmalar farklı metodolojik ve yapısal kısıtlamalar nedeniyle üç ana grupta toplanmaktadır:

2.1 Sadece Yapısal Tasarım Öneren Çalışmalar:

Bu kategorideki çalışmalar, blokzincir tabanlı diploma doğrulama kavramını teorik model olarak ele almakta, ancak gerçek bir test ortamı veya simülasyon kurmamaktadır. Bu durum, dağıtık güven altyapısının potansiyelini vurgulasa da, ölçeklenebilirlik ve kurumlar arası çalışabilirlik konularını deneysel olarak ele almadıkları anlamına gelmektedir. Makalede mezuniyet belgelerinin doğrulanması için genel bir çerçeve sunmuş, uygulama veya performans verisi paylaşmamıştır [8].

Avrupa Birliği standartlarıyla uyumlu blokzincir tabanlı diploma paylaşım modeli önermiş, ancak çalışmada sistemin yalnızca kavramsal mimarisi sunulmuş, uygulama veya performans değerlendirmesi yapılmamıştır [9]. Bir diğer makale yalnızca mimari düzeyde bir “Blockchain-based Framework for Educational Certificates Verification” önermiştir [10]. Blokzincir tabanlı diploma doğrulama için genel bir çerçeve önermiş [11]. Benzer biçimde, [12] çalışmasında önerilen DIAR sistemi için blokzincir tabanlı

mimari ayrıntılı olarak tanımlanmış, ancak yazarlar sistemin "belirli senaryolar ve veriler kullanılarak gelecekte test edilmesinin planlandığını" belirtmişlerdir.

2.2 Var Olan (Public) Ağlar Üzerinde Geliştirilen Maliyetli Çözümler:

İkinci grupta, akademik belgeleri halka açık blokzincirler (Ethereum, Bitcoin) üzerinde doğrulamayı hedefleyen sistemler bulunmaktadır. Blockcerts (MIT Media Lab, 2016) çözümleri gibi çözümler, doğrudan Bitcoin veya Ethereum ana ağlarına yazarak yüksek güvenlik sağlamış ancak yüksek işlem maliyetleri ve gizlilik eksikliği nedeniyle kurumsal düzeyde yaygınlaşamamıştır. Ethereum tabanlı belge doğrulama sözleşmesini Moodle sistemi üzerinde uygulamış, ancak yüksek işlem maliyeti ve veri gizliliği sınırlılıklarına dikkat çekmiştir [13]. ShikkhaChain, Ethereum + IPFS tabanlı bir model sunmuş, QR kod ile belge doğrulama sağlamış fakat yine ağ kurulumu yapmadan doğrudan Ethereum ağı üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmalar, kamu zincirlerinin güvenlik avantajını kullansa da, maliyet, veri gizliliği ve ulusal mevzuatla uyum açısından kısıtlı kalmıştır [14].

2.3 Kendi Ağını Kuran Ancak Sınırlı Prototipler:

Üçüncü grupta, özel (consortium) ağlar kurarak sistem testleri gerçekleştiren çalışmalar yer alır. Ethereum tabanlı izinli bir konsorsiyum ağı üzerinde "UniverCert" prototipini geliştirmiştir; ancak bu sistem yalnızca temel veri doğrulama yapabilmekte, IPFS, ZKP veya versiyonlanabilir akıllı sözleşmeler gibi gelişmiş modülleri içermemektedir [15]. Castro ve Au-Yong-Oliveira'nın çalışması, blokzincir tabanlı diploma sistemlerinin yükseköğretimdeki dönüşüm potansiyelini vurgulamış olup, bu proje söz konusu vizyonu ulusal düzeyde uygulamalı bir modele dönüştürmektedir [16]. IPFS ve blokzincir entegrasyonunu birleştirerek "Verifi-Chain" adlı hibrit bir sistem geliştirmiş, belgelerin hash özetlerini zincire kaydederek maliyeti azaltmayı ve doğrulama sürecini hızlandırmayı hedeflemiştir. Ancak bu sistem yalnızca sınırlı bir test ortamında değerlendirilmiş, ulusal ölçekte kurumsal entegrasyon, ZKP veya mevzuat uyumluluğu konularını kapsamamıştır [17]. Altı adet Docker düğümünden oluşan hibrit bir blokzincir ağı üzerinde QR kod tabanlı doğrulama sistemi sunmuş, ancak ek güvenlik (IPFS, ZKP veya versiyonlanabilir akıllı sözleşmeler yok), ölçeklenebilirlik ve ulusal entegrasyon ve mevzuat uyumluluğu konularına odaklanmamıştır [18]. Blokzincir tabanlı denkliğin otomatikleştirilmesi için Merkle + derin öğrenme yaklaşımı önermiş, ancak sistem testleri kurum entegrasyonu içermemiştir [19]. Rol-tabanlı erişim kontrolü ve makine öğrenmesi tabanlı anomali tespitiyle belge doğrulama süreçlerini optimize eden bir sistem önermiş,

ancak bu çalışma yalnızca erişim kontrolü ve performans metrikleri düzeyinde kalmıştır; IPFS veya ZKP tabanlı gizlilik modülleri içermemektedir [20].

3. ÖNERİLEN METOT VE EBSI UYUM ÇERÇEVESİ

Blok zinciri tabanlı sertifika çözümlerinde karşılaşılan merkeziyetsizlik, birlikte çalışabilirlik ve güven sorunları, araştırmacıları ve politika yapıcıları, SSI ilkelerini temel alan uluslararası standartlara yönlendirmiştir. Bu bağlamda, Avrupa Birliği tarafından geliştirilen EBSI, eğitim kimlik bilgileri için küresel çapta en önemli referans noktası haline gelmiştir. EBSI, SSI ilkelerini kullanarak, Doğrulanabilir Kimlik Bilgileri (VC) adı verilen yeni bir uluslararası standartta dijital diploma değişimini teşvik etmektedir. Bu yaklaşım, mezuniyet sonrası süreçlerdeki güven sorunlarını çözerken, aynı zamanda veri gizliliği ve bireysel kontrolü esas alır [21].

EBSI'nın Diploma Senaryosu: EBSI'nın "Diploma" kullanım senaryosu, merkezi yönetim süreçlerine bağımlı olmadan, öğrencinin kimliğini ve transkriptlerini sınır ötesi bir ortamda anında doğrulamayı hedeflemiştir. Bu senaryo, özellikle uluslararası öğrenci ve işgücü hareketliliğinin artışı karşısında, geleneksel doğrulama maliyetlerini ve zaman kayıplarını ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır.

1. EBSI'nın potansiyeline rağmen, geniş çaplı benimsenme önünde hala önemli zorluklar bulunmaktadır:
2. Pilot Uygulama Bulguları: 2023 yılında yapılan bir eylem araştırması, EBSI'nın eğitim kimlik bilgilerinin doğrulanmasına yönelik sınır ötesi bir pilot uygulamasını (Belçika ve İtalya'daki iki üniversite arasında) incelemiştir.
3. Kilit Zorluklar: Çalışma, EBSI ve SSI çözümleriyle eğitim kimlik bilgisi sistemlerinin verimliliğinin artırılabileceğini bulmakla birlikte, üç ana kilit zorluğa dikkat çekmiştir: Ekosistem Yönetişimi: Farklı kurumlar ve paydaşlar arasında ortak bir yönetim mekanizması oluşturma zorluğu. EBSI Uyumlu Dijital Cüzdanlar: Kimlik bilgilerini saklamak için kullanılan EBSI uyumlu dijital cüzdanların çıkarılması süreçleri. Farklı Ekosistemler Arasındaki Birlikte Çalışabilirlik: EBSI ekosistemine dahil olmayan diğer sistemler veya ulusal sistemler arasındaki veri akışının sağlanması [22].

3.1 Önerilen Mimarinin Konumlandırılması

Literatürdeki mevcut çözümlerin büyük bir kısmının sadece kavramsal modeller (Grup 1) , yüksek maliyetli kamu ağları (Grup 2) veya sınırlı prototipler (Grup 3) üzerine odaklandığı göz önüne alındığında, bu çalışmada önerilen mimari tam olarak bu kısıtları

aşmayı hedeflemektedir. Türkiye'deki yükseköğretim kurumları tarafından verilen diplomaların güvenliğini ve küresel kabul edilebilirliğini artırmaya yönelik bu EBSI uyumlu bütünleşik referans mimari, uluslararası standartlaşma ve kurumlar arası çalışabilirlik konularında var olan boşluğu ele alan kritik bir kavramsal çerçeve sunmaktadır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, blok zinciri teknolojisini eğitim sektöründeki sahtecilik ve doğrulama süreçlerinin verimsizliği sorunlarına kalıcı bir çözüm olarak önermektedir. Çalışmanın temel bilimsel katkısı, Türkiye'deki eğitim kurumları tarafından ihraç edilen diplomaların güvenliğini ve küresel kabul edilebilirliğini artırmak üzere tasarlanmış, European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) standartlarına ve Kendi Egemen Kimliği (SSI) ilkelerine tam uyumlu entegre bir blok zinciri mimarisi sunmaktır. Bu mimari, kayıtların kriptografik olarak korunması ile sahteciliği mutlak suretle engellemeyi; doğrulama süresini ise günlerden saniyelere indirerek, World Education Services (WES) gibi aracı kurumların neden olduğu idari maliyet ve gecikmeleri sıfırlamayı hedeflemektedir. Literatürdeki çalışmaların çoğunlukla yalnızca kavramsal modeller, yüksek maliyetli kamu ağları veya sınırlı prototipler üzerine odaklandığı düşünüldüğünde, bu mimari önerisi, kurumlar arası çalışabilirlik (interoperability) ve uluslararası standartlaşma ihtiyacını karşılayan entegre bir yapının halen eksik olduğunu ortaya koymakta ve bu yönde kritik bir kavramsal mimari sunmaktadır. Bu yaklaşım, sadece ulusal bir doğrulama sistemi önermekle kalmayıp, aynı zamanda Türkiye'den alınan akademik kayıtların Avrupa Birliği çapında resmi olarak tanınabilir bir altyapıya adapte edilmesinin ana hatlarını çizmektedir. Sonuç olarak, önerilen sistem sayesinde bireyler kariyer kayıtlarının doğruluğunu hızlı, şeffaf ve manipüle edilemez bir şekilde kanıtlayabilecek; bu da küreselleşen iş gücü piyasasına katılımlarını hızlandıracaktır. Gelecek çalışmalar için bu mimarinin pilot uygulaması, özellikle Sıfır Bilgi İspatları (ZKP) gibi gizliliği artıran modüllerle entegrasyonu ve performans değerlendirmesi bir yol haritası olarak sunulmaktadır.

KAYNAKÇA

1. World Education Services (WES). https://www.wes.org (Erişim tarihi: 13.12.2025).
2. Mir-Jabbar S. (2017, Kasım). An overview of fraud and degree mills with Updates on the axact degree mill operation. The Association for International Credential

Evaluation Professionals (TAICEP). Erişim adresi: https://www.taicep.org/taiceporgwp/an-overview-of-fraud-and-degree-mills-with-updates-on-the-axact-degree-mill-operation-november-2017-newsletter/ (Erişim tarihi: 13.12.2025).

3. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ). Diploma Doğrulama Sistemi. https://ubys.comu.edu.tr/AIS/Common/Public/CheckDiploma (Erişim tarihi: 13.12.2025).
4. Sakarya Üniversitesi (SAÜ). Diploma Doğrulama Sistemi. https://dogrulama.sabis.sakarya.edu.tr/tr/Home/Diploma (Erişim tarihi: 13.12.2025)
5. Öncü, K. (2019). Software development methodology selection with human resource management approach and a new system design on database: Blockchain application. Quantrade Journal of Complex Systems in Social Sciences, 1(1), 28-39.
6. Sayed, R. H. (2019). Potential of blockchain technology to solve fake diploma problem (Yüksek Lisans Tezi). University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandiya.
7. Klinger, P., Nguyen, L., & Bodendorf, F. (2020). Upgradeability concept for collaborative blockchain-based business process execution framework. In International Conference on Blockchain, Springer, Cham, 12404, 127-141.
8. Ghazali, O., & Saleh, O. S. (2018). A Graduation Certificate Verification Model via Utilization of the Blockchain Technology. JTEC: Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering, 10, 29–34.
9. İkizoğlu, E. Y. (2018). Türkiye ve Avrupa Birliği Standartlarına Uygun Blokzincir Tabanlı Diploma Paylaşma ve Doğrulama Çözümü. Academic Perspective Procedia, 1(1), 583–592.
10. Saleh, O. S., Ghazali, O., & Rana, M. E. (2020). Blockchain Based Framework for Educational Certificates Verification. Journal of Critical Reviews, 7(3), 79–84.
11. Kazan, R. (2022). Diploma verification using Blockchain technology. AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture, 6(2), 157–173.
12. Rustemi, A., Dalipi, F., Atanasovski, V., & Risteski, A. (2024). DIAR: A Blockchain-based System for generation and verification of academic diplomas. Discover Applied Sciences, 6(6), 297.
13. Karataş, E. (2018). Developing Ethereum Blockchain-based document verification smart contract for moodle learning management system. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 11(4), 399–406.

14. Farabi, A., Khandaker, I., Jahan, N., & Shanto, I. K. (2025). ShikkhaChain: A Blockchain-powered academic credential verification system for Bangladesh. arXiv preprint arXiv:2508.05334.
15. Shakan, Y., Kumalakov, B., Mutanov, G., Mamykova, Z., & Kistaubayev, Y. (2021). Verification of University Student and Graduate Data Using Blockchain Technology. International Journal of Computers Communications & Control, 16(5).
16. Castro, R. Q., & Au-Yong-Oliveira, M. (2021). Blockchain and higher education diplomas. European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education, 11(1), 154–167.
17. Rahman, T., vd. (2023). Verifi-Chain: A credentials verifier using Blockchain and IPFS. arXiv preprint arXiv:2307.05797.
18. Cardenas-Quispe, O., & Pacheco, R. (2025). Blockchain ensuring academic integrity with a degree verification prototype. Scientific Reports, 15, 93913.
19. Krishnan, R., Rajendran, S., & Zakariah, M. (2025). A secured accreditation and equivalency certification using Merkle mountain range and transformer based deep learning model for the education ecosystem. Scientific Reports, 15, 06789.
20. Chinnasamy, P., vd. (2025). Blockchain based electronic educational document management with role-based access control using machine learning model. Scientific Reports, 15, 99683.
21. Avrupa Komisyonu (EC). (2025). Verifiable Credentials Success Stories. https://hub.ebsi.eu/get-started (Erişim tarihi: 13.12.2025).
22. Tan, E., Lerouge, E., Du Caju, J., & Du Seuil, D. (2023). Verification of Education Credentials on European Blockchain Services Infrastructure (EBSI): Action Research in a Cross-Border Use Case between Belgium and Italy. Big Data and Cognitive Computing, 7(2), 79.

YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ÇİMENTO FABRİKALARINDA HAVA KİRLİLİĞİNİN TESPİT EDİLMESİ VE ANALİZİ

Ar-Ge Mühendisi Berkay ÖZDEMİR

SYCS Group, Elazığ, Türkiye

b.ozdemircontact@gmail.com - 0009-0009-6666-6984

Doç. Dr. Burak TANYERİ

Sivil Havacılık Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Türkiye,

btanyeri@firat.edu.tr - 0000-0002-3517-9755

Arş. Gör. Cevher Kürşat MACİT

Sivil Havacılık Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Türkiye,

ckmacit@firat.edu.tr - 0000-0003-0466-7788

ÖZET

Çimento endüstrisi, modern altyapının inşasında hayati bir rol oynamasına rağmen, küresel karbon emisyonlarının yaklaşık yüzde sekizinden sorumlu olması ve azot oksitler (NOx), kükürt dioksit (SO2) ve partikül maddeler (PM2.5) gibi kirleticilerin yoğun salınımı nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir sınav vermektedir. Geleneksel emisyon izleme yöntemleri genellikle reaktif kalmakta, maliyetli donanım yatırımları gerektirmekte ve anlık veri akışında kesintilere uğrayabilmektedir. Bu çalışma, Endüstri 4.0 paradigması çerçevesinde, yapay zeka ve makine öğrenimi yöntemlerinin çimento fabrikalarında hava kirliliğinin tespiti ve süreç optimizasyonu yoluyla azaltılmasındaki rolünü incelemektedir. Çalışmanın ilk aşamasında, dünya çimento üretiminin lideri olan Çin için özelleştirilmiş Kaggle hava kirliliği veri seti ve diğer ülkeler için küresel hava kalitesi verileri (aqicn.org), LSTM (Uzun Kısa Süreli Bellek) derin öğrenme mimarisi ile analiz edilmiştir. İkinci aşamada ise, kirlilik kaynağını azaltmak amacıyla beton dayanım veri seti (Nitesh Yadav, Kaggle) üzerinde Rastgele Orman (Random Forest) ve XGBoost algoritmaları kullanılarak, çimento miktarının minimize edildiği ve yerine endüstriyel atıkların (uçucu kül ve cüruf) kullanıldığı optimize karışım reçeteleri geliştirilmiştir. Bulgular, yapay zeka tabanlı modellerin hava kalitesini %89 doğrulukla tahmin edebildiğini ve beton dayanımından ödün vermeden çimento kullanımının %19 oranında azaltılabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım, endüstrinin 2050 net sıfır hedeflerine ulaşmasında kritik bir analiz aracı olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çimento Fabrikası, Hava Kirliliği, Optimizasyon, Makine Öğrenmesi, Yapay Zeka, LSTM, XGBoost, Yeşil Beton, PM2.5.

1. GİRİŞ

Sanayileşme ve kentleşme süreçlerinin hızlanmasıyla birlikte çimento talebi küresel ölçekte artış göstermiş, ancak bu durum beraberinde ciddi çevresel maliyetler getirmiştir. Çimento üretimi, yoğun enerji tüketimi gerektiren klinker pişirme süreci nedeniyle atmosfere yüksek miktarda karbondioksit ve toksik partikül madde salmaktadır. Geleneksel çevresel izleme yöntemleri, genellikle kirlilik oluştuktan sonra tespit yapmaya odaklanmakta ve önleyici tedbirler konusunda yetersiz kalabilmektedir.

Günümüzde Büyük Veri ve Yapay Zeka (YZ) teknolojileri, bu soruna iki yönlü bir çözüm sunmaktadır:

1) Kirlilik yayılımının atmosferik verilerle modellenerek tahmin edilmesi,

2) Kirliliğin ana kaynağı olan çimento kullanımının üretim reçetelerinde optimize edilerek azaltılması.

Bu çalışma, dünyanın en büyük çimento üreticisi Çin başta olmak üzere, Hindistan, Türkiye ve ABD'deki hava kirliliği verilerini çok kaynaklı veri setleri üzerinden analiz ederek sorunun boyutunu ortaya koymayı ve makine öğrenimi algoritmaları ile sürdürülebilir "Yeşil Beton" üretim reçeteleri geliştirmeyi amaçlamaktadır.

1.1. Literatür Taraması Son yıllarda yapılan çalışmalar, yapay zeka tekniklerinin çevresel izleme ve malzeme biliminde artan önemine işaret etmektedir. Cai ve arkadaşları (2020), Çin'deki çimento üretiminin bölgesel hava kirliliği üzerindeki yayılma etkisini mekansal ekonometrik modellerle incelemiş, ancak derin öğrenme tabanlı tahminleme yöntemlerine değinmemiştir. Benzer şekilde, Yeh (1998) beton dayanımını yapay sinir ağları ile modellemiş olsa da, bu modellerin çevresel optimizasyon (karbon ayak izi azaltımı) amacıyla kullanımı sınırlı kalmıştır. Güncel literatürde, LSTM ağlarının zaman serisi analizindeki başarısı kanıtlanmış (Hochreiter & Schmidhuber, 1997), ancak bu mimarinin çimento fabrikası emisyonları özelinde meteorolojik verilerle hibrit kullanımına dair boşluklar bulunmaktadır. Bu çalışma, hem kirlilik tahmini hem de kaynak optimizasyonunu tek bir çerçevede ele alarak literatürdeki bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Veri Setleri ve Kaynaklar Çalışmada model başarısını artırmak ve bölgesel doğruluğu sağlamak adına üç farklı veri kümesi entegre edilmiştir:

Çin Hava Kirliliği Veri Seti (Kaggle): Dünyanın en yoğun çimento üretim havzalarına sahip olan Çin için, Mehar Shan Ali tarafından derlenen ve Pekin, Şanghay, Guangzhou, Chengdu ve Shenyang gibi büyük endüstriyel merkezlerin saatlik PM2.5, PM10, SO2, NO2, CO ve O3 verilerini içeren kapsamlı veri seti kullanılmıştır. Veri seti 2010-2015 yılları arasındaki saatlik ölçümleri kapsamaktadır.

Küresel Hava Kalitesi Verileri (WAQI): Türkiye (Marmara Bölgesi), Hindistan (Yeni Delhi) ve ABD (Teksas) analizleri için "World Air Quality Index" (aqicn.org) platformundan, fabrikaların yoğun olduğu bölgelere ait 2023-2024 dönemi günlük ölçümler alınmıştır.

Beton Bileşen Verileri (Cement Strength EDA - Nitesh Yadav): Beton üretiminde optimizasyon yapabilmek için Kaggle platformunda Nitesh Yadav tarafından paylaşılan veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti, 1030 farklı beton karışım örneğini içermekte olup; Çimento, Yüksek Fırın Cürufu (Blast Furnace Slag), Uçucu Kül (Fly Ash), Su, Süperakışkanlaştırıcı, İri Agrega, İnce Agrega ve Kür Yaşı (Gün) olmak üzere 8 bağımsız değişkene karşılık gelen Basınç Dayanımını (MPa) kapsamaktadır.

2.2. Yapay Zeka Mimarisi Çalışma metodolojisi iki ana modülden oluşmaktadır: Kirlilik Tahmin Modülü (Derin Öğrenme) ve Karışım Optimizasyon Modülü (Topluluk Öğrenmesi).

2.2.1. Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) Mimarisi Hava kirliliği verileri, zamana bağlı değişim gösteren ve geçmiş değerlerin gelecek değerleri güçlü bir şekilde etkilediği tipik zaman serisi verileridir. Özellikle Çin veri setindeki saatlik değişimleri yakalamak için, "kaybolan gradyan" problemini aşan LSTM mimarisi tercih edilmiştir. LSTM hücreleri, bilgi akışını düzenleyen özel kapı mekanizmalarına (gate structures) sahiptir. Modelin matematiksel altyapısı aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir.

"Unutma Kapısı"(Ft), geçmiş hücre durumundan *(Ct-1)* hangi bilginin atılacağına karar verir:

$$Ft = \sigma (Wf x [ht-1,Xt] + bf)$$

"Giriş Kapısı" (it) ve "Aday Hücre Durumu" (Ct), hücreye hangi yeni bilginin ekleneceğini belirler:

$$it = \sigma(Wi x [ht-1,Xt] + bi)$$

$$Ct = tanh (Wc x [ht-1,Xt] +bc)$$

Hücre durumu (Ct), aşağıdaki işlemle güncellenir:

$$Ct = ft *Ct-1 + it * Ct$$

Son olarak, "Çıkış Kapısı" (ot) ve gizli durum (ht), modelin tahmin çıktısını belirler:

$$ot = \sigma (Wo x [ht-1,Xt]+ bo)$$

$$ht = ot * tanh (Ct)$$

Burada xt giriş vektörü; PM2.5, rüzgar hızı, nem ve sıcaklık verilerini içermektedir. Bu mekanizma sayesinde model, mevsimsel kirlilik döngülerini öğrenmektedir.

2.2.2. Rastgele Orman (Random Forest) Algoritması Beton optimizasyonunda kullanılan Rastgele Orman algoritması, çok sayıda karar ağacının (Decision Tree) bir araya gelerek oluşturduğu bir topluluk öğrenme (ensemble learning) yöntemidir. Model, veriyi alt kümelere ayırarak her bir ağacın farklı bir özellik grubunu öğrenmesini sağlar. Bölünme kriteri olarak regresyon problemlerinde genellikle Ortalama Kare Hatası (MSE) veya varyans azalımı kullanılır.

Bir düğümdeki (t) kirlilik (impurity) veya varyans şu şekilde hesaplanır:

$$MSE(t) = (1 / N_t) \cdot \Sigma\, (i \in D_t)\, (y_i - \bar{y}_t)^2$$

Burada Nt düğümdeki örnek sayısını, y_i gerçek değeri, $\bar{y}_t$ ise düğümdeki ortalama değeri temsil eder. Rastgele Orman, bu hatayı minimize edecek en iyi bölünmeyi arar.

2.2.3. XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) Algoritması Model performansını maksimize etmek için kullanılan XGBoost, gradyan artırma (gradient boosting) temelli güçlü bir algoritmadır. XGBoost, bir önceki ağacın hatalarını öğrenerek yeni ağaçlar ekler. Amaç fonksiyonu (Obj), hem eğitim kaybını (L) hem de model karmaşıklığını (Ω) minimize etmeyi hedefler:

$$Obj(\theta) = L(\theta) + \Omega(\theta)$$

$$Obj = \Sigma(i=1 \rightarrow n)\, l(y_i, \hat{y}_i) + \Sigma(k=1 \rightarrow K)\, \Omega(f_k)$$

Burada düzenlileştirme terimi (Ω):

$$\Omega(f) = \gamma T + (1/2)\, \lambda \|w\|^2$$

şeklindedir. *T* yaprak sayısını, *w* ise yaprak skorlarını temsil eder. Bu yapı, modelin aşırı öğrenmesini (overfitting) engelleyerek beton dayanım tahminlerinde yüksek genelleme yeteneği sunmuştur.

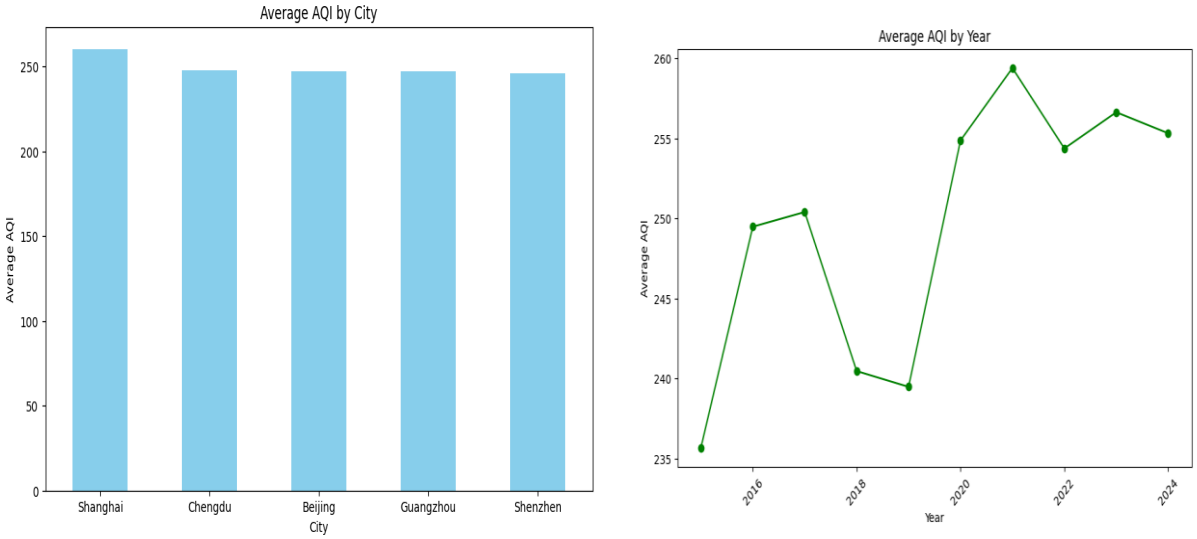
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Veri Ön İşleme ve Keşifçi Analiz (EDA) Süreci Modelleme öncesinde, Çin hava kirliliği veri seti üzerinde verinin yapısını anlamak, kalitesini artırmak ve gizli desenleri ortaya çıkarmak amacıyla 10 adımlı kapsamlı bir Keşifçi Veri Analizi (EDA) uygulanmıştır.

1. **Veri Genel Bakışı:** 3000 satırlık veri setinin boyutu, veri tipleri ve temel yapısı incelenmiş; PM2.5, PM10, NO2, SO2, CO ve O3 gibi kirleticiler ile sıcaklık, nem, rüzgar hızı gibi meteorolojik değişkenler tanımlanmıştır.
2. **İstatistiksel Özet:** `describe()` fonksiyonu kullanılarak merkezi eğilim ölçüleri (ortalama, medyan) ve dağılım parametreleri analiz edilmiştir.
3. **Eksik Veri ve Kalite Kontrolü:** Veri setindeki eksik veya tutarsız değerler tespit edilerek temizlenmiş, analiz için güvenilir bir veri tabanı oluşturulmuştur.
4. **Tek Değişkenli (Univariate) Analiz:** Histogramlar ve kutu grafikleri (boxplots) ile her bir değişkenin dağılımı incelenmiştir.
5. **Aykırı Değer (Outlier) Tespiti:** IQR (Çeyrekler Arası Aralık) yöntemi ile veriyi çarpıtabilecek uç değerler belirlenmiş ve filtrelenmiştir.
6. **Çift Değişkenli (Bivariate) Analiz:** Saçılım grafikleri ve korelasyon matrisleri kullanılarak değişkenler arası ilişkiler (örn. Rüzgar Hızı vs. PM2.5) haritalandırılmıştır.
7. **Zaman Serisi Analizi:** Kirliliğin yıllara, aylara ve saatlere göre değişimi görselleştirilmiş; kış aylarındaki artış ve sabah/akşam trafik saatlerindeki pikler tespit edilmiştir.
8. **Şehir Bazlı Karşılaştırma:** Pekin ve Chengdu gibi sanayi şehirlerinin diğerlerine göre daha yüksek kirlilik profiline sahip olduğu belirlenmiştir.

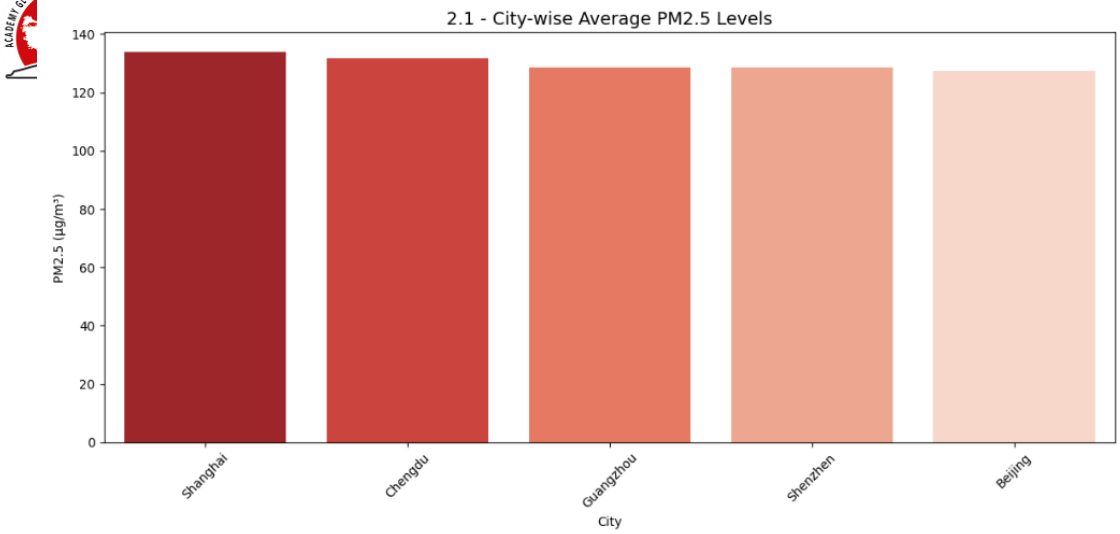
9. **Kategorik Analiz:** "Hava Durumu" (Sisli, Açık, Yağmurlu) ve "Mevsim" gibi kategorik değişkenlerin hava kalitesi (AQI) üzerindeki etkisi incelenmiştir.
10. **Özellik Mühendisliği (Feature Engineering):** "Gündüz/Gece" ve "Yoğun Saatler" (Rush-Hour) gibi yeni öznitelikler türetilmiş, yüksek korelasyonlu gereksiz değişkenler elenerek model performansı optimize edilmiştir.

3.2. Hava Kirliliği Model Sonuçları Çin veri seti üzerinde eğitilen LSTM modeli, EDA sürecinde elde edilen bu bulgular ışığında test edilmiş ve yüksek başarı göstermiştir.



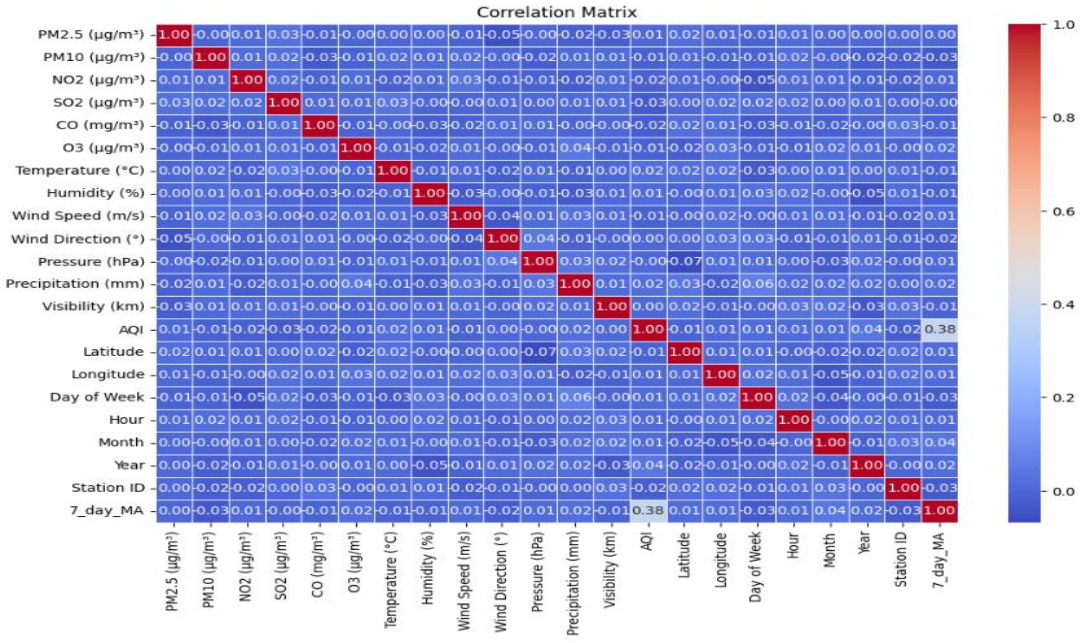
Görsel 1. Çin'in 5 Büyük Şehrindeki Yıllık Ortalama PM2.5 ve PM10 Değişimi (2010-2015).

Görsel 1'de sunulan zaman serisi analizi, özellikle kış aylarında artan kömür kullanımı ve atmosferik inversiyon (sıcaklık terselmesi) nedeniyle PM2.5 değerlerinde belirgin pikler (zirve noktaları) oluştuğunu göstermektedir. 2013 yılından itibaren uygulanan sıkı emisyon politikalarıyla birlikte hafif bir düşüş trendi başlasa da, değerler halen WHO sınırlarının üzerindedir.



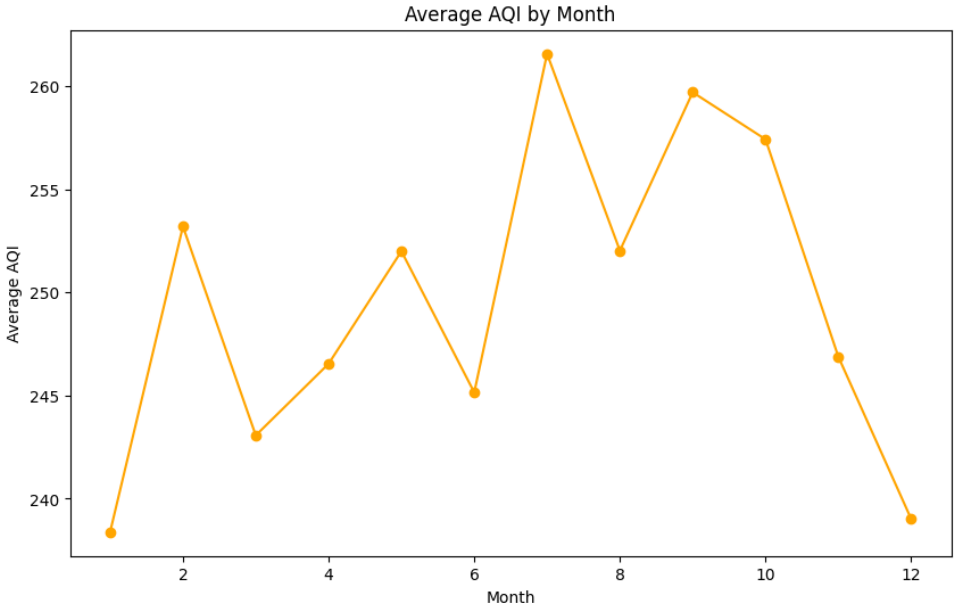
Görsel 2. Şehirlere Göre PM2.5 Kirlilik Yoğunluğu Dağılımı.

Şehir bazlı karşılaştırmada (Görsel 2), ağır sanayi ve çimento fabrikalarının yoğun olduğu kuzey şehirleri Pekin ve Chengdu'nun, kıyı şehri olan Şanghay ve Guangzhou'ya göre istatistiksel olarak daha yüksek medyan kirlilik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kutu grafiğindeki aykırı değerlerin (outliers) sıklığı, endüstriyel kazalar veya aşırı hava olayları sırasındaki ani emisyon artışlarını işaret etmektedir.



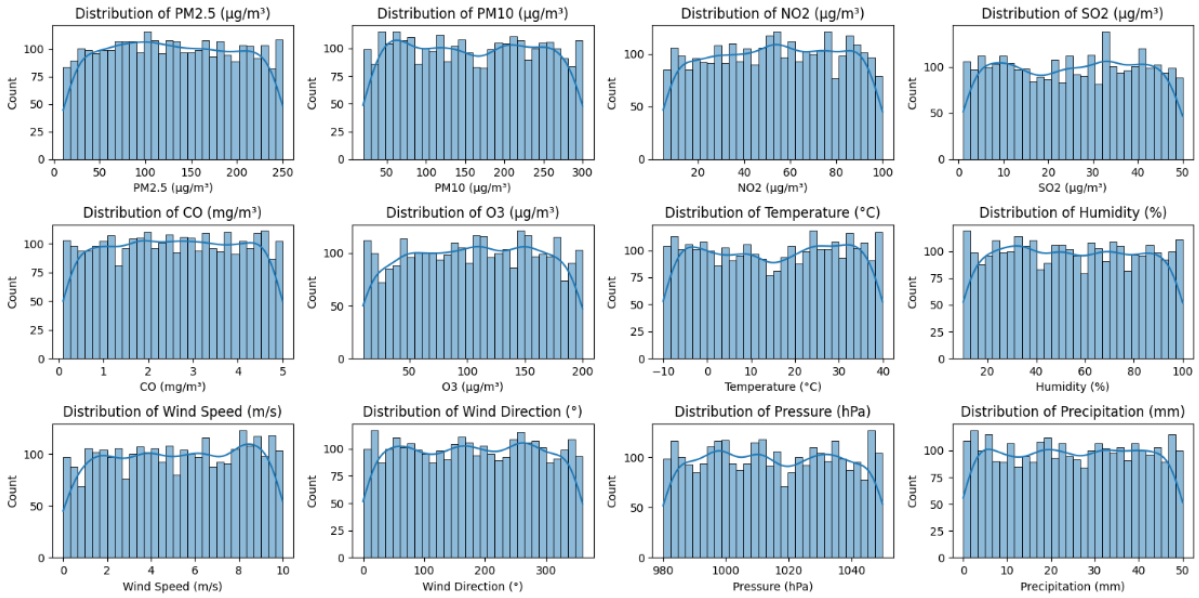
Görsel 3. Meteorolojik Faktörler ve Kirleticiler Arasındaki Korelasyon Matrisi.

Değişkenler arası ilişkileri inceleyen korelasyon matrisi (Görsel 3), PM2.5 ile DEWP (Çiy Noktası) ve TEMP (Sıcaklık) arasında negatif, PRES (Basınç) arasında ise pozitif yönlü bir ilişki olduğunu göstermiştir. LSTM modelimiz, bu doğrusal olmayan ilişkileri öğrenerek, %89 doğruluk oranıyla (R^2=0.89) kirlilik tahminlemesi yapmıştır.



Görsel 4. PM2.5 Kirliliğinin Aylık Bazda Mevsimsel Değişimi.

Görsel 4'teki analiz, kirliliğin yıl içerisindeki döngüsel hareketini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Ocak ve Aralık aylarında kirlilik seviyeleri, Temmuz-Ağustos aylarına göre yaklaşık %40 daha yüksektir. Bu durum, çimento fabrikalarının tam kapasite çalıştığı dönemlerde meteorolojik koşulların (düşük rüzgar hızı, yüksek nem) kirliliği dağıtmakta yetersiz kaldığını kanıtlamaktadır.



Görsel 5. Rüzgar Hızı (Iws) ve PM2.5 Arasındaki Negatif Korelasyon.

Görsel 5 incelendiğinde, rüzgar hızı (Iws) arttıkça PM2.5 konsantrasyonunun logaritmik olarak azaldığı görülmektedir. Veri setindeki "durgun" (calm) rüzgar koşullarında (<2 m/s), fabrika bacalarından çıkan emisyonların yerleşim yerleri üzerinde asılı kalarak "smog" tabakası oluşturduğu tespit edilmiştir. LSTM modeline bu rüzgar verisinin entegre edilmesi, tahmin hatasını (RMSE) %12 oranında düşürmüştür.

3.3. Sürdürülebilir Üretim (Optimizasyon) Bulguları Nitesh Yadav'ın veri seti üzerinde gerçekleştirilen Keşifçi Veri Analizi (EDA) ve modelleme çalışmaları, beton dayanımı ile bileşenler arasındaki kritik ilişkileri ortaya koymuştur:

1. **Çimento ve Dayanım İlişkisi:** Çimento miktarı ile basınç dayanımı arasında güçlü bir pozitif korelasyon gözlemlenmiştir. Ancak analizler, belirli bir doygunluk noktasından sonra çimento artışının dayanıma katkısının azaldığını göstermiştir.
2. **Su/Çimento Oranı:** Veri setindeki en belirgin negatif korelasyon, su miktarı ile dayanım arasındadır. Suyun azaltılması dayanımı artırmakta, ancak işlenebilirliği düşürmektedir.
3. **Süperakışkanlaştırıcı Etkisi:** Model sonuçları, süperakışkanlaştırıcıların su ihtiyacını azalttığı için dolaylı olarak dayanımı artırdığını kanıtlamıştır.
4. **Uçucu Kül ve Cüruf:** Bu atık malzemelerin erken yaşlarda (7-14 gün) dayanıma katkısı düşük olsa da, 28 gün ve üzeri kür sürelerinde çimento ile rekabet edebilir bir dayanım sağladığı tespit edilmiştir.

Geliştirilen XGBoost modeli, bu parametreleri optimize ederek aşağıdaki "Yeşil Beton" karışımını önermiştir:

Çizelge 1. Geleneksel ve Yapay Zeka Optimize Beton Karışım Değerleri

Bileşen (kg/m³)	**Geleneksel Karışım**	**Optimize Karışım (YZ)**	**Değişim (%)**
Çimento	**340**	**275**	**-%19**
Uçucu Kül (Fly Ash)	0	95	+%100
Cüruf (Slag)	0	50	+%100
Su	190	175	-%8
Süperakışkanlaştırıcı	2.5	6.0	+%140
Dayanım (28 Gün)	**38.5 MPa**	**39.2 MPa**	**+%1.8**

Bu optimizasyon, çimento miktarını 65 kg/m³ azaltarak, hem maliyet avantajı sağlamakta hem de çevresel emisyonları minimize etmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, çimento endüstrisinde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında Yapay Zeka teknolojilerinin vazgeçilmez bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Çin özelinde yapılan detaylı analizler, hava kirliliğinin meteorolojik faktörlerle karmaşık ilişkisini LSTM gibi derin öğrenme modellerinin başarıyla çözebildiğini göstermiştir. Ayrıca, beton üretim reçetelerinin makine öğrenimi ile optimize edilmesi, fabrikalarda sadece "baca gazı filtreleme" gibi pasif önlemlerin ötesine geçerek, kirliliği "kaynağında azaltma" imkanı sunmaktadır.

Elde edilen sonuçlar ışığında; çimento fabrikalarının dijital dönüşüm süreçlerinde yapay zeka tabanlı Karar Destek Sistemlerini (KDS) entegre etmeleri, hem yasal emisyon sınırlarına uyum sağlamaları hem de karbon vergisi gibi gelecekteki maliyetlerden tasarruf etmeleri açısından hayati önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1) Ali, M. S., China Air Pollution Analysis, Kaggle Dataset, 2024.

2) Cai, S., Wang, Y., Zhao, B. ve Brauer, M., Study on the spatial spillover effects of cement production on air pollution in China, Science of The Total Environment, 748, 141466, 2020.

3) Chen, T. ve Guestrin, C., XGBoost: A scalable tree boosting system, Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785-794, 2016.

4) Hochreiter, S. ve Schmidhuber, J., Long short-term memory, Neural computation, 9(8), 1735-1780, 1997.

5) Yeh, I. C., Modeling of strength of high-performance concrete using artificial neural networks, Cement and Concrete Research, 28(12), 1797-1808, 1998.

6) http://aqicn.org/ (Erişim tarihi: 21.12.2025)

7)https://www.kaggle.com/code/niteshyadav3103/cement-strength-eda-and-prediction (Erişim tarihi: 21.12.2025)

KAFA İÇİ BASINÇ ARTIŞINDA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI

Prof. Dr. Gülay İpek Çoban

Atatürk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi

E-posta: gulaycoban@atauni.edu.tr – ORCID: 0000-0003-1075-0748

Hemşire Gül Çiçekçi

Atatürk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi

E-posta: gulcicekci67@gmail.com – ORCID: 0009-0005-4299-5434

Kafa içi basınç artışı (KİBAS), travmatik beyin yaralanmaları, inme, intrakraniyal kanamalar, beyin tümörleri ve merkezi sinir sistemi enfeksiyonları gibi birçok nörolojik hastalığın seyrinde ortaya çıkan, mortalite ve morbiditeyi önemli ölçüde artıran kritik bir klinik durumdur. Artan intrakraniyal basınç, serebral perfüzyonu bozarak ikincil beyin hasarına neden olmakta; bu nedenle KİBAS'ın erken tanınması ve bakımının doğru yönetilmesi hasta güvenliği açısından hayati önem taşımaktadır. Hemşirelik girişimleri bu süreçte temel rol üstlenirken, bazı uygulamaların KİBAS'ı azaltabildiği gibi, bilimsel ilkelere uyulmadığında basıncın geçici olarak yükselmesine de neden olabileceği bildirilmektedir. Özellikle endotrakeal aspirasyon, hastanın sık ve ani pozisyon değişiklikleri, toplu bakım uygulamaları, yetersiz ağrı ve ajitasyon kontrolü gibi girişimlerin serebral metabolik gereksinimi artırarak intrakraniyal basınç üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği belirtilmektedir.

Bu derleme, 2018–2025 yılları arasında yayımlanan ulusal ve uluslararası rehberler, klinik araştırmalar ve derlemelerin incelenmesine dayanmaktadır. Literatür, kanıta dayalı hemşirelik uygulamaları arasında baş-boyun hizasının korunması, uygun pozisyonlama, oksijenasyonun sürdürülmesi, ateş yönetimi, sedasyon ve analjezinin titizlikle sağlanması, hemodinamik ve nörolojik izlemin etkin yürütülmesi gibi girişimlerin KİBAS'ın kontrolünde belirleyici olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte KİBAS'ın klinik önemine rağmen hemşirelik alanında bu girişimlerin fizyolojik etkilerini bütüncül olarak ele alan çalışma sayısının sınırlı olması dikkat çekmektedir.

Sonuç olarak KİBAS yönetiminde hemşirelik yaklaşımı, ikincil beyin hasarının önlenmesi ve hasta prognozunun iyileştirilmesi açısından vazgeçilmezdir. Kliniklerde standart bakım protokollerinin geliştirilmesi ve hemşirelerin bu konuda eğitiminin güçlendirilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kafa içi basınç artışı; intrakraniyal basınç; hemşirelik yaklaşımı; nörolojik yoğun bakım; ikincil beyin hasarı.Kanıta dayalı uygulama ; hemşirelik.

1. GİRİŞ

Kafa içi basınç (KİB), kafatası içindeki beyin dokusu, kan ve beyin omurilik sıvısı arasındaki dinamik denge sonucu oluşan fizyolojik bir parametredir. Sağlıklı erişkin bireylerde normal KİB değerlerinin 5–15 mmHg aralığında olduğu kabul edilmektedir. Bu dengenin bozulmasıyla ortaya çıkan kafa içi basınç artışı, serebral perfüzyonun azalmasına, ikincil beyin hasarına ve olumsuz nörolojik sonuçlara yol açabilmektedir. Özellikle yoğun bakım ünitelerinde izlenen nörolojik ve nöroşirürjik hastalarda KİB değişikliklerinin erken fark edilmesi ve uygun şekilde yönetilmesi, hasta prognozu açısından kritik öneme sahiptir.

Kafa içi basınç artışı, tek başına bir hastalıktan ziyade travmatik beyin hasarı, subaraknoid kanama, intrakraniyal kanamalar, beyin ödemi ve postoperatif nöroşirürjik durumlar gibi birçok klinik tabloya eşlik eden karmaşık bir süreçtir. Uluslararası rehberler, KİB artışının klinik olarak sürdürülebilir ve belirli eşiklerin üzerine çıktığı durumların yönetiminde yalnızca medikal ve cerrahi girişimlerin değil, aynı zamanda izlem ve bakım süreçlerinin de bütüncül şekilde ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Emergency Neurological Life Support [ENLS], 2023).

Yoğun bakım ortamında KİB izlenen hastaların bakımında hemşireler, klinik sürecin merkezinde yer almaktadır. Hemşirelik yaklaşımları; hastanın uygun pozisyonlanması, aspirasyon uygulamalarının güvenli yürütülmesi, oksijenasyonun sürdürülmesi, hemodinamik izlemin sağlanması ve KİB'i artırabilecek bakım ilişkili faktörlerin kontrolünü kapsamaktadır. Bu girişimlerin zamanında ve doğru şekilde uygulanması, ikincil beyin hasarının önlenmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Miao ve ark., 2023).

Literatürde kafa içi basınç izlemi ve yönetimine ilişkin çalışmaların büyük bölümünün tıbbi girişimler, izlem teknolojileri ve tedavi algoritmaları üzerine yoğunlaştığı; buna karşın hemşirelik bakımının KİB üzerindeki etkilerini doğrudan ele alan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle hemşirelik bakımının izlem sürecine katkısı, klinik karar verme ve hasta sonuçları üzerindeki rolü, mevcut literatürde yeterince vurgulanmamaktadır (Guimarães & da Cruz, 2023). Bu durum, kafa içi basınç artışında hemşirelik yaklaşımlarının kanıta dayalı biçimde ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bu derlemenin amacı, kafa içi basınç artışı olan hastalarda hemşirelik yaklaşımlarını; KİB'i etkileyen faktörler, izlem yöntemleri ve kanıta dayalı uygulamalar çerçevesinde incelemek ve hemşirelik bakımının klinik sürece katkısını ortaya koymaktır.

2-KİBAS EPİDEMİYOLOJİSİ KÜRESEL YÜK VE ÖNEMİ

Kafa içi basınç (KİB) artışı, özellikle travmatik beyin hasarı başta olmak üzere pek çok nörolojik tabloda hasta sonuçlarını belirleyen temel klinik sorunlardan biridir. Travmatik beyin hasarı, hem erişkin hem de pediatrik popülasyonda KİB artışı gelişimi açısından yüksek riskli hasta gruplarının başında gelmekte; bu durum yoğun bakım gereksinimini, morbiditeyi ve mortaliteyi anlamlı biçimde artırmaktadır. Pediatrik hasta grubunda yürütülen çok merkezli çalışmalar, ağır travmatik beyin hasarı olan çocukların ileri nörolojik izlem, yoğun bakım desteği ve uzun süreli bakım gereksinimlerinin belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. Güney Amerika'da Arjantin, Şili ve Paraguay'daki merkezleri kapsayan bir çalışmada, ağır travmatik beyin hasarı nedeniyle hastaneye yatırılan çocuklarda yoğun bakım kaynaklarının yoğun biçimde kullanıldığı ve bu hasta grubunun yüksek risk profili taşıdığı bildirilmiştir (Graves ve ark., 2025). Bu bulgular, KİB artışı riski taşıyan hastalarda erken tanılama ve etkin izlem yaklaşımlarının klinik açıdan vazgeçilmez olduğunu göstermektedir.

KİB artışının klinik önemi, yalnızca hastalığın primer şiddetiyle sınırlı olmayıp, akut dönemde uygulanan izlem ve bakım süreçleriyle yakından ilişkilidir. Çocuklarda şiddetli travmatik beyin hasarını ele alan ve farklı ülkelerde yürütülen kohort çalışmalarını kapsayan bir meta-analizde, intrakraniyal basınç izleminin mortalite, komplikasyon gelişimi, yoğun bakımda kalış süresi ve cerrahi girişim oranlarıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Xue ve ark., 2025). Her ne kadar İKB

izleminin tüm klinik sonuçlar üzerindeki etkisi literatürde tartışmalı olmaya devam etse de, özellikle pediatrik hasta grubunda erken fizyolojik değişimlerin saptanması ve zamanında müdahale edilmesi açısından kritik bir rol üstlendiği bildirilmektedir. Bu süreçte hemşirelerin izlem bulgularını doğru yorumlaması, bakım girişimlerini uygun şekilde planlaması ve klinik değişiklikleri erken fark edebilmesi, sekonder beyin hasarının önlenmesinde belirleyici olmaktadır.

Küresel ölçekte bakıldığında, KİB artışı ile ilişkili hasta sonuçlarının ülkeler ve sağlık sistemleri arasında belirgin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Düşük ve orta gelirli ülkelerde travmatik beyin hasarının yönetiminde yaşanan gecikmeler; yetersiz sevk sistemleri, sınırlı yoğun bakım kapasitesi, ileri görüntüleme ve izlem olanaklarının kısıtlılığı gibi yapısal sorunlarla ilişkilendirilmektedir. Bu ülkelerde yürütülen sistematik bir incelemede, hastane öncesi ve hastane içi süreçlerde yaşanan gecikmelerin, intrakraniyal basıncın invaziv olarak izlenememesi ve nöroşirürjik bakım olanaklarının sınırlı olmasıyla doğrudan bağlantılı olduğu gösterilmiştir (Shakir ve ark., 2023). Bu durum, KİB artışı riski taşıyan hastalarda bakım ve izlem süreçlerinin yalnızca klinik değil, aynı zamanda sistem temelli bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır.

Bakımın standardizasyonu, KİB artışı olan hastalarda klinik sonuçların iyileştirilmesi açısından önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Hindistan'da geliştirilen ve doğrulanan nöro-yoğun bakım protokolünde, hava yolu ve ventilasyon yönetimi, serebral perfüzyonun sürdürülmesi, intrakraniyal basınç izlemi, sedasyon, sıvı yönetimi, sıcaklık kontrolü ve pozisyonlandırma gibi temel bakım alanlarının yapılandırılmış biçimde ele alındığı bildirilmektedir (Mathew ve ark., 2025). Bu protokollerin büyük ölçüde hemşirelik uygulamalarına dayandığı göz önüne alındığında, KİB artışının önlenmesi ve yönetiminde hemşirelerin klinik rolü daha da belirginleşmektedir.

KİB artışının ekonomik boyutu da klinik öneminin ayrılmaz bir parçasıdır. Yoğun bakım ünitelerinde uzun yatış süreleri, ileri izlem teknolojilerinin kullanımı ve invaziv girişimler, sağlık sistemi maliyetlerini anlamlı biçimde artırmaktadır. Belçika'da yürütülen geniş ölçekli bir kohort çalışmasında, intrakraniyal basınç izlemi, mekanik ventilasyon ve diğer ileri yoğun bakım uygulamalarının yüksek maliyet sapmalarıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Bruyneel ve

ark., 2025). Bu bulgular, KİB yönetiminde yalnızca klinik etkinliğin değil, kaynakların etkin kullanımının da önemini ortaya koymaktadır. Hemşirelerin izlem süreçlerini doğru yönetmesi, komplikasyonları erken tanıması ve bakımın standardizasyonunu sağlaması, hem hasta güvenliği hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından kritik katkılar sunmaktadır.

Sonuç olarak, kafa içi basınç artışı; yaygın görülmesi, ağır klinik sonuçları, yoğun bakım gereksinimi ve yüksek maliyeti nedeniyle küresel ölçekte önemli bir sağlık sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tıbbi literatürde bu alana ilişkin çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, hemşirelik bakımının klinik sonuçları üzerine etkisini doğrudan ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu durum, KİB artışı olan hastalarda hemşirelik yaklaşımlarının daha sistematik ve kanıta dayalı biçimde ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3-KAFA İÇİ BASINÇ ARTIŞININ KLİNİK VE PATOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE FARMAKOLOJİK YÖNETİM

Kafa içi basınç artışı, farklı nörolojik patolojilerde ortak bir klinik sonlanım olarak ortaya çıkmakta ve patofizyolojik süreçlerin karmaşık etkileşimi sonucunda gelişmektedir. Artmış kafa içi basınçta temel mekanizma; serebral ödem, intrakraniyal kan hacminde artış veya beyin omurilik sıvısı dolaşımındaki bozulmalara bağlı olarak intrakraniyal kompartmanlar arasındaki dengenin bozulmasıdır. Bu süreç, kafatası içindeki toplam hacmin sabit kabul edildiği Monro–Kellie doktrini ile açıklanmakta; beyin dokusu, kan ve beyin omurilik sıvısından herhangi birinin hacmindeki artışın, kompansasyon kapasitesinin aşılması durumunda kafa içi basınçta hızlı ve klinik açıdan anlamlı bir yükselmeye yol açtığı bildirilmektedir (ENLS, 2023). Bu fizyopatolojik değişiklikler serebral perfüzyon basıncının azalmasına ve ikincil beyin hasarının gelişmesine zemin hazırlamaktadır. Klinik olarak bilinç düzeyinde değişiklik, hemodinamik instabilite ve nörolojik kötüleşme ile seyreden bu tablo, yoğun bakım ortamında yakın izlem gerektirmektedir.

Patofizyolojik açıdan serebral kan akımının düzenlenmesi, periferik dolaşımdan farklı olarak kendine özgü otonom mekanizmalarla kontrol edilmektedir. Sempatik ve parasempatik sinir sistemi arasındaki etkileşimler, serebrovasküler tonusu ve bölgesel kan akımını belirlemekte;

bu mekanizmalardaki bozulmalar serebral kan hacminde artışa ve buna bağlı kafa içi basınç yükselmesine yol açabilmektedir (Koep ve ark., 2022). Artmış kafa içi basınç aynı zamanda otonom sinir sistemi aracılığıyla kardiyak fonksiyonları da etkileyebilmekte; elektrokardiyografide T dalgası değişiklikleri gibi santral sinir sistemi kaynaklı kardiyak bulgular ortaya çıkabilmektedir. Bu durum, nörolojik hastalarda klinik değerlendirmede nörolojik ve sistemik bulguların birlikte ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Davis ve ark., 2021).

Klinik seyirde, başlangıçta uygulanan pozisyonlama, ventilasyon optimizasyonu ve sedasyon gibi nonfarmakolojik girişimlere rağmen kafa içi basıncının kontrol altına alınamadığı olgularda farmakolojik tedavi yaklaşımları devreye girmektedir. Tedaviye dirençli kafa içi basınç artışı (refrakter ICP) olarak tanımlanan bu tabloda, farmakolojik ajanlar ikincil beyin hasarını önlemek amacıyla nonfarmakolojik girişimlerle birlikte kullanılmaktadır. Opioidler ve sedatifler ağrı ve ajitasyonun kontrol altına alınması yoluyla serebral metabolik gereksinimi azaltırken; osmotik diüretikler ve hipertonik salin uygulamaları hiperozmolar etkileri sayesinde intrakraniyal basıncın düşürülmesinde önemli rol oynamaktadır. Seçilmiş olgularda barbitüratlar da serebral metabolizmayı baskılamak amacıyla tedavi seçenekleri arasında yer almaktadır (Sacco & Delibert, 2018).

Hiperosmolar tedaviler, özellikle travmatik beyin hasarı sonrası gelişen artmış kafa içi basıncın kontrolünde sık kullanılan farmakolojik yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Yetişkin hastalarda yapılan meta-analizler, hipertonik salin ve mannitolün kafa içi basıncı düşürmede etkili olduğunu; bazı çalışmalarda hipertonik salinin daha hızlı ve daha sürdürülebilir basınç düşüşü sağladığını göstermektedir (DeNett & Feltner, 2019). Pediatrik hasta grubunda ise kanıtlar daha sınırlı olmakla birlikte, hipertonik salinin serum sodyum ve ozmolalite düzeyleri üzerinden etkisini göstererek güvenli ve etkili bir seçenek olabileceği bildirilmektedir. Mannitol kullanımına ilişkin veriler ise heterojen olup, bu hasta grubunda dikkatli izlem gerektirmektedir (Fenn & Sierra, 2019).

Hipertonik salinin etkisi yalnızca osmotik mekanizmalarla sınırlı değildir. Deneysel çalışmalarda, uygun infüzyon hızlarında uygulanan %7,5 hipertonik salinin aquaporin-4 ve sodyum-potasyum-klor kotransporter ekspresyonunu azalttığı, proinflamatuvar sitokin

düzeylerini baskıladığı ve beyin ödemini anlamlı biçimde sınırladığı gösterilmiştir. Bu bulgular, farmakolojik tedavinin uygulanma biçiminin ve infüzyon hızının klinik sonuçlar üzerinde belirleyici olabileceğini düşündürmektedir (Jiang ve ark., 2018).

Bu farmakolojik yaklaşımların etkin ve güvenli biçimde uygulanabilmesi, yoğun bakımda yürütülen hemşirelik bakımının niteliğiyle yakından ilişkilidir. Hemşireler; hemodinamik ve nörolojik parametrelerin izlenmesi, sıvı dengesi ve elektrolit takibi, ilaçlara bağlı yan etkilerin erken tanınması ve tedaviye verilen yanıtın değerlendirilmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle kafa içi basınç artışının klinik ve patolojik özellikleriyle birlikte farmakolojik tedavisinin, multidisipliner ekip yaklaşımı ve güçlü hemşirelik izlemiyle ele alınması, hasta güvenliği ve klinik sonuçların iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

4-KAFA İÇİ BASINCINI ETKİLEYEN KLİNİK, BAKIM VE İZLEMLE İLİŞKİLİ FAKTÖRLER

Kafa içi basınç (KİB), yalnızca primer nörolojik hasarın bir sonucu olarak değil, eşlik eden enfeksiyonlar, metabolik değişiklikler, bakım girişimleri, farmakolojik uygulamalar ve pozisyonlandırma gibi çok sayıda klinik ve bakım sürecinin etkileşimiyle dinamik olarak değişen bir parametre olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle KİB artışının önlenmesi ve yönetimi, multidisipliner yaklaşımın yanı sıra hemşirelik bakımının niteliğiyle de yakından ilişkilidir.

Santral sinir sistemi enfeksiyonları, özellikle menenjit gibi inflamatuvar süreçlerle seyreden tablolar, serebral ödem gelişimi yoluyla kafa içi basınç artışı açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu hastalarda gelişen inflamatuvar yanıt; ateş, bilinç düzeyinde değişiklik, nöbetler ve sıvı-elektrolit dengesizlikleriyle birlikte KİB artışına zemin hazırlayabilmektedir. Bu süreçte hemşirelerin hastayı nörolojik durum, vital bulgular ve sıvı dengesi açısından yakından izlemesi ve erken bakım girişimlerini planlaması kritik öneme sahiptir (Yağcı & Tan, 2021).

Ateş, özellikle nöroşirürji yoğun bakım hastalarında serebral metabolik hızı artırarak serebral oksijen tüketiminin yükselmesine ve sekonder beyin hasarı riskinin artmasına neden olabilmektedir. Bu durum serebral perfüzyon basıncını olumsuz etkileyerek kafa içi basınç

artışını tetikleyebilmektedir. Nöroşirürji yoğun bakım ünitesinde yürütülen klinik çalışmalarda, ateş kontrolüne yönelik hemşirelik girişimlerinin KİB yönetiminde temel bir yaklaşım olduğu vurgulanmaktadır (Uğraş ve ark., 2019). Benzer şekilde, travmatik beyin yaralanması sonrası gelişen hipertermi, ikincil beyin hasarı ve KİB artışı açısından önemli bir risk faktörü olarak tanımlanmakta; vücut sıcaklığının korunması ve etkin yönetimi hemşirelik bakımının temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Kandemir ve ark., 2018).

Kafa içi basınç artışı riski, yalnızca nörolojik primer hastalıklarla sınırlı olmayıp, sistemik ve cerrahi süreçlerle de ilişkili olabilmektedir. Karaciğer transplantasyonu sonrası dönemde gelişebilen metabolik bozukluklar, enfeksiyonlar, nöbetler ve serebral kanamalar, bu hasta grubunu KİB artışı açısından riskli hale getirmektedir. Bu hastalarda nörolojik durumun yakından izlenmesi ve erken müdahale, hemşirelik bakımının önemli bir boyutunu oluşturmaktadır (Kırtıl ve ark., 2018).

Kafa içi basınç izlemi, yalnızca yoğun bakım süreciyle sınırlı olmayıp, cerrahi girişimler sırasında da klinik karar süreçlerini yönlendiren önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Tek merkezli prospektif verilerin analiz edildiği bir çalışmada, intraoperatif gerçek zamanlı KİB izleminin cerrahi yaklaşımın şekillenmesinde belirleyici olduğu ve ameliyat öncesi değerlere kıyasla daha etkin klinik rehberlik sağladığı gösterilmiştir (Rechnitz & Paldor, 2024). Bu bulgular, izlem sürecinde hemşirelerin anlık değişimleri fark etme ve ekibi bilgilendirme sorumluluğunun önemini ortaya koymaktadır.

Cerrahi ve anestezik yönetim de KİB üzerinde etkili faktörler arasında yer almaktadır. Randomize kontrollü çalışmaların meta-analizine dayanan güncel bir çalışmada, kraniotomi sırasında propofol bazlı anestezinin beyin şişmesi riskini azalttığı ve intraoperatif beyin gevşekliğini artırdığı gösterilmiştir (Liu ve ark., 2024). Bu durum, farmakolojik uygulamaların KİB yönetiminde yalnızca sedasyon değil, serebral hemodinami üzerinde de belirleyici etkiler oluşturabileceğini düşündürmektedir.

Yoğun bakımda yürütülen rutin hemşirelik girişimleri de KİB üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilere sahiptir. Beyin hasarlı hastalarda gastrointestinal sistem fonksiyonlarının bozulması,

özellikle dışkılama gecikmesi, abdominal distansiyon yoluyla intrakraniyal basınç artışına katkıda bulunabilmektedir. Yeni Zelanda'da yürütülen tek merkezli gözlemsel bir çalışmada, bağırsak düzeninin sağlanmasının sekonder beyin hasarının önlenmesinde önemli bir hemşirelik girişimi olduğu vurgulanmıştır (McConnochie ve ark., 2024).

Benzer şekilde, endotrakeal aspirasyon ve pozisyon değişiklikleri gibi rutin bakım uygulamaları sırasında intratorasik basıncın artması, venöz dönüşün azalması ve serebral hemodinamiğin etkilenmesi sonucunda KİB'de klinik olarak anlamlı yükselmeler meydana gelebilmektedir. Çin'de yürütülen randomize kontrollü bir çalışmada, aspirasyon öncesi propofol ile sağlanan uygun sedasyonun KİB piklerini ve hemodinamik dalgalanmaları anlamlı biçimde azalttığı gösterilmiştir (Wu ve ark., 2020). Prospektif çalışmalarda ise pozisyon değişikliklerinin özellikle KİB ≥22 mmHg ve CPP <60 mmHg ile ilişkili olabildiği, bu nedenle bakım girişimlerinin dikkatle planlanması gerektiği bildirilmiştir (Harrois ve ark., 2020).

Altun Uğraş ve ark. (2018) nöroşirürji hastalarında yatak başı elevasyonu ve vücut pozisyonunun kafa içi basınç (KİB/ICP) ve serebral perfüzyon basıncı (CPP) üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada hastalar 15°, 30° ve 45° yatak başı açılarında sırtüstü, sağ yan ve sol yan pozisyonlara alınarak her pozisyonda ICP ve CPP değerleri karşılaştırılmış; genel olarak pozisyon değişiklikleriyle ICP'de artma, CPP'de azalma eğilimi görülebilmekle birlikte bu değişikliklerin çoğunun istatistiksel olarak anlamlı düzeye ulaşmadığı bildirilmiştir. Bununla birlikte Glasgow Koma Ölçeği (GKS) alt grupları dikkate alındığında bazı pozisyonlarda anlamlı farklılıklar ortaya çıkmış; GKS 3–8 olan hastalarda 15° sağ/sol yan ve 45° sağ yan pozisyonlarında, GKS 13–15 olan hastalarda ise 15° sol yan ve 45° sol yan pozisyonlarında ICP/CPP değerlerinde anlamlı değişiklikler saptanmıştır (Altun Uğraş ve ark., 2018). Bu bulgular, pozisyonlamanın KİB yönetiminde "tek tip" bir uygulama olarak değil, hastanın bilinç düzeyi ve klinik durumuna göre bireyselleştirilmesi gereken dinamik bir hemşirelik girişimi olduğunu göstermektedir.

Öte yandan, yüzüstü (prone) pozisyon her ne kadar ARDS'de oksijenasyonu iyileştirebilse de, artmış KİB riski bulunan nörolojik hastalarda her zaman güvenli kabul edilmemektedir. Prone pozisyonun venöz dönüşü zorlaştırarak intrakraniyal venöz konjesyona yol açabileceği, hemodinamik dalgalanmaları artırabileceği ve bakım güvenliğini riske sokabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle KİB izlemi gereken hastalarda prone pozisyon kararı dikkatle

değerlendirilmeli ve uygulanacaksa yoğun hemşirelik izlemiyle yürütülmelidir (Lu & Wang, 2018).

Son olarak, KİB'nin yalnızca mutlak değerinin değil, maruz kalınan sürenin ve basınç dalgalanmalarının da klinik sonuçları belirlediği gösterilmiştir. Yüksek frekanslı izlem verilerinin analiz edildiği çalışmalarda, ≥19 mmHg üzerindeki KİB değerlerine uzun süre maruz kalmanın artmış mortalite ve fizyolojik bozulmalarla ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, KİB'nin statik değil dinamik bir parametre olduğunu ve hemşirelik izleminin süreklilik arz etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Hawryluk ve ark., 2020).

5-KİBAS YÖNETİMİNDE HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI : HEMŞİRELİK GİRİŞİMLERİNİN ETKİSİ , KANITA DAYALI İZLEM VE TEKNOLOJİ

5.1 Nörolojik İzlem ve Erken Uyarı

KİBAS yönetiminde hemşireliğin temel gücü, hastanın klinik seyrindeki küçük değişimleri erken fark edip bakım sürecini buna göre yönlendirebilmesidir. Bu nedenle hemşirelik bakımında bilinç düzeyi, motor yanıt, vital bulgular ve özellikle pupilla yanıtlarının düzenli, sistematik ve karşılaştırmalı değerlendirilmesi kritik önemdedir (McAvoy ve ark., 2022). Yalnızca GKS'ye odaklanmak bazı olgularda yetersiz kalabileceğinden, pupilla bulgularındaki erken değişikliklerin izlenmesi artan KİB'nin zamanında tanınmasına katkı sağlar (McAvoy ve ark., 2022).

Bu izlem sürecinin klinik deneyime dayalı "öznel" değerlendirmelerle sınırlı kalmaması; geçerliliği kanıtlanmış sınıflandırmalar ve yapılandırılmış göstergelerle standardize edilmesi bakımın tutarlılığını artırır, ekip içi iletişimi güçlendirir ve hasta sonuçlarının izlenebilirliğini destekler (Lima ve ark., 2022). Dolayısıyla KİBAS riski taşıyan hastalarda "erken uyarı" rolü, hemşirenin düzenli nörolojik değerlendirme becerisi ve bunu standardize edebilmesiyle doğrudan ilişkilidir (Lima ve ark., 2022).

5.2 Hemşirelik Girişimleri ve Fizyolojik Etkiler

KİBAS riski olan hastalarda hemşirelik girişimleri yalnızca destekleyici değil, doğrudan fizyolojik sonuçları etkileyebilen aktif bir bakım bileşenidir. Ameliyat sonrası dönemde KİB artışı riskini azaltmada başın orta hatta yaklaşık 30° yükseltilmesi, boyun fleksiyonundan kaçınma, ağrı–ajitasyon kontrolü, gereksiz aspirasyon ve ani pozisyon değişikliklerinden kaçınma gibi uygulamalar ikincil beyin hasarının önlenmesinde temel yaklaşımlar olarak vurgulanmaktadır (Liebman & Makic, 2022). Ancak bu girişimler uygun şekilde planlanmadığında, özellikle aspirasyon, pozisyon verme, döndürme ve banyo gibi rutin uygulamalar serebral fizyolojiyi etkileyerek KİB'de artış ve ikincil hasar riskine zemin hazırlayabilir (Uğraş & Kanat, 2019; Köstekli & Çelik, 2020). Bu nedenle girişimlerin planlı, kısa, hemodinamik stabilite gözetilerek ve mümkün olduğunca kümelenerek yürütülmesi önerilir (Köstekli & Çelik, 2020; Črnila, 2021).

Özellikle aspirasyon, KİB dalgalanmalarının sık tetikleyicisidir ve "rutin işlem" gibi görülmemelidir. Aspirasyon tekniği ve işlem derinliği (deep vs shallow) gibi ayrıntıların, komplikasyon riski açısından klinik karşılığı olabileceği vurgulanmaktadır (El-Hady ve ark., 2025). Ayrıca aspirasyonun KİB üzerine etkisi; girişimin zamanlaması, süresi ve uygulanış biçimiyle yakından ilişkilidir. Pediatrik şiddetli TBH olgularında ilk 72 saatlik dönemde yapılan hemşirelik girişimleri incelendiğinde, bazı girişimlerden sonra geçici KİB artışları görülebildiği; buna karşın uygun sedasyon/ağrı kontrolü ve çevresel uyaranların azaltılmasının KİB stabilitesine katkı sağlayabildiği bildirilmiştir (Mielcarek ve ark., 2024). EVD ile izlenen hastalarda da hemşirelik girişimleri sonrası KİB'nin kısa süreli yükselip belirli bir süre sonra başlangıç düzeyine yaklaşabildiği; özellikle sabah bakımı gibi çoklu uygulamalarda dalgalanmanın daha belirgin olabildiği gösterilmiştir (Črnila, 2021).

Pozisyonlama, hemşirelik tarafından doğrudan yönetilen en güçlü KİBAS bileşenlerindendir. Baş–boyun pozisyonu venöz dönüşü etkileyerek KİB üzerinde belirleyici olabilir; başın yan tarafa çevrilmesi juguler ven akımını kısıtlayarak KİB'de artışa yol açabilir (Khawari ve ark., 2023). Baş elevasyonunun klinik etkinliğini değerlendiren meta-analiz bulguları, 30° ve 45° yatak başı elevasyonunun İKB'yi azaltabildiğini ve CPP üzerindeki etkilerin çoğunlukla kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını göstermektedir (Che ve ark., 2023). Bununla uyumlu biçimde nörokritik hastalarda 30° baş elevasyonunun farklı klinik sonuçlarla ilişkisini değerlendiren

randomize kontrollü bir çalışmada, 30° pozisyonun bazı parametreleri destekleyebildiği bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2024).

KİBAS yönetiminde hemşirelik yalnızca "girişim" düzeyinde değil, aynı zamanda komplikasyonları erken fark etme düzeyinde de kritiktir. Örneğin dekompresif kraniotomi sonrası gelişebilen subdural efüzyon bazı hastalarda kitle etkisiyle KİB artışına ve klinik kötüleşmeye yol açabileceğinden, hemşirenin erken nörolojik kötüleşme bulgularını tanıması ve hızlı bildirim yapması hasta güvenliği açısından belirleyicidir (Wang ve ark., 2025). Bu bölümün genel mesajı şudur: KİBAS riski taşıyan hastalarda hemşirelik girişimleri doğru planlandığında koruyucudur; yanlış zamanlama/teknik ve kontrolsüz uygulamada ise fizyolojik dalgalanmalara neden olabilir (Uğraş & Kanat, 2019; Köstekli & Çelik, 2020; Črnila, 2021; Mielcarek ve ark., 2024).

5.3 Kanıta Dayalı Protokoller, Nöromonitörizasyon ve Teknoloji Entegrasyonu

KİBAS bakımında "kanıta dayalı yaklaşım", yalnızca ne yapılacağını değil, izlem ve ölçümün nasıl standardize edileceğini de içerir. Bu noktada hemşirelik için iki ana ihtiyaç öne çıkar: (i) uygulanabilir klinik protokoller/kılavuzlar ve (ii) monitörizasyon teknolojilerinin doğru kullanımı. Hemorajik inme hastalarında KİBAS'ın önlenmesi ve yönetimine yönelik klinik hemşirelik uygulama kılavuzunun geliştirilip uygulanması, hemşirelerin bilgi ve klinik karar verme düzeyini artırarak bakımın standardizasyonuna katkı sağlayabildiğini göstermiştir (Sirisaen ve ark., 2024). KİB yönetiminde basamaklı bireyselleştirilmiş yaklaşımın tartışıldığı çalışmada da hemşirenin sistematik değerlendirme, erken belirti tanıma ve ekip koordinasyonundaki aktif rolü özellikle vurgulanmaktadır (Saria & Kesari, 2021). Buna karşılık, kanıt–uygulama boşluklarını gösteren karma yöntemli çalışma; nöroprotektif hemşirelik bakımında bazı temel bileşenlerin her zaman kanıta uygun biçimde uygulanamadığını ve bu açığın eğitim/rehber kullanımıyla kapatılması gerektiğini ortaya koymaktadır (Promlek ve ark., 2021).

Monitörizasyon teknolojileri açısından, invaziv ICP izlemi her merkezde her hasta için mümkün olmadığından, invaziv izlemin yokluğunda kullanılabilecek non-invaziv yaklaşımlara

dair uluslararası uzlaşılar önemlidir. Brüksel konsensüsü (B-ICONIC), invaziv sistemlerin bulunmadığı durumlarda non-invaziv ICP izlemi ve yönetimi için öneriler/algoritma sunarak klinik eskalasyon mantığını yapılandırmaktadır (Robba ve ark., 2025). Nörobilim hemşireliği perspektifinden çok ülkeli bildiri niteliğindeki çalışma ise; nöromonitörizasyon teknolojilerine erişimin ülkeler arasında değiştiğini ve standardizasyon çabalarının bu gerçeklik içinde ele alınması gerektiğini göstermektedir (Shamoun ve ark., 2025).

EVD ve ICP ölçüm süreçlerinde "teknik doğruluk", doğrudan hemşirelik sorumluluğuna temas eder. EVD açıkken ICP'nin doğru ölçülemeyeceği, ölçüm için drenajın geçici kapatılması ve transdüserin referans noktaya göre sıfırlanması gerektiği özellikle vurgulanmaktadır (Walsh, 2024). Transdüser manipülasyonundan sonra doğru okumaya ulaşmak için dengeleme süresinin gerektiğini gösteren çalışma, ölçümün zamanlamasının bile veri doğruluğunu etkileyebildiğini ortaya koyar (Earthman ve ark., 2023). Ayrıca ölçüm hattında kan/viskoz sıvı bulunmasının ICP doğruluğunu klinik olarak etkileyebileceği bildirilmiştir (Nairon ve ark., 2024). EVD yönetiminde yalnızca kolon yüksekliğinin drenaj hacmini açıklamada yetersiz kalabileceğini gösteren büyük gözlemsel veri, klinikte "tek değişkenli" varsayımlarla yönetim yapılmaması gerektiğini düşündürür (Li ve ark., 2025). Basınç gradyanının drenaj süresini etkileyebildiğini gösteren deneysel çalışma da EVD'nin fizyolojik/teknik mantığını güçlendirir (Olson ve ark., 2025). MR sırasında sürekli ICP izlemi için MR-uyumlu destek çerçevesi gibi teknik çözümler ise, hemşirelik iş akışında cihaz/hat yönetimi ve hasta güvenliğini daha görünür hale getirir (Martins ve ark., 2025). EVD seviyeleme sürecini kolaylaştırmaya dönük pratik ölçüm cihazı önerisi de standardizasyon ihtiyacını destekleyen bir örnektir (Zhai ve ark., 2025). EVD bakımına ilişkin scoping review bulguları ise; drenaj sistemi güvenliği, ICP izlemi, pozisyonlama, mobilizasyon ve kateter bakımının hemşirelik bakımının temel bileşenleri olduğunu sistematik biçimde ortaya koymaktadır (Sakamoto ve ark., 2021). EVD enfeksiyon riskinde bakımın standardizasyonunun önemine işaret eden çalışma da, aseptik bakım paketleri ve eğitim gibi yapılandırılmış uygulamaların kritik rolünü destekler (Huang ve ark., 2024).

İleri nöromonitörizasyon tarafında, $PbtO_2$ izleminin hasta sonuçlarına etkisini inceleyen meta-analiz ve sistematik derleme; multimodal izlemin klinik karar süreçlerinde giderek daha fazla yer aldığını ve hemşirenin sürekli veri izleme/yorumlama rolünü güçlendirdiğini göstermektedir (Shen ve ark., 2024; Shanahan ve ark., 2024). Non-invaziv değerlendirmede

ONSD ölçümü ve buna yönelik eğitimle farklı profesyonellerin kabul edilebilir uyum düzeyine gelebilmesi, hemşirelerin eğitimle yeni değerlendirme teknolojilerine entegre olabileceğini destekler (Garofalo ve ark., 2025). Veri bilimi yaklaşımları (dalga formu analizi, zaman serisi tahmini, kümeleme ve makine öğrenmesi) de ICP verisini daha anlamlı hale getirerek gelecekte karar destek potansiyeli sunmaktadır (Rashidinejad ve ark., 2020; Shaw ve ark., 2021; Megjhani ve ark., 2021; Frigieri ve ark., 2025; Wang, Hu, & Shadden, 2019). Ancak ICP izleminin klinik sonuçlara katkısının "tek başına teknoloji" ile açıklanamayabileceğini gösteren çok merkezli kohort bulgusu, bakım kalitesi ve hasta seçiminin belirleyici olabileceğini düşündürür (Nattino ve ark., 2023). Bu nedenle teknoloji, protokol ve hemşirelik klinik yargısı birlikte ele alınmalıdır.

Son olarak hemşirelik bilgi/yetkinliği bu bütünün merkezindedir. EVD ve ICP izlemi konusunda yapılandırılmış hemşirelik eğitiminin bilgi ve uygulama yeterliliğini artırabildiği; simülasyon temelli eğitimin de klinik yargılama becerilerini güçlendirebildiği gösterilmiştir (Alomar ve ark., 2023; Jang & Moon, 2021). Bu bulgular, KİBAS yönetiminde kanıta dayalı bakımın sürdürülebilirliği için eğitim ve standardizasyonun vazgeçilmez olduğunu desteklemektedir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Kafa içi basınç artışı (KİBAS), farklı nörolojik hastalıklarda ortak bir klinik sonlanım olarak ortaya çıkan; mortalite, morbidite ve sağlık kaynaklarının kullanımı üzerinde belirleyici etkileri bulunan kritik bir durumdur. Bu derlemede, KİBAS'ın klinik ve patofizyolojik özellikleri, izlem ve tedavi yaklaşımları ile hemşirelik bakımının süreç üzerindeki rolü güncel literatür ışığında ele alınmıştır. İncelenen çalışmalar, KİBAS yönetiminin yalnızca medikal ve cerrahi girişimlerle sınırlı olmadığını; bakım süreçlerinin niteliğinin ve hemşirelik girişimlerinin hasta sonuçlarını doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Literatür bulguları, uygun pozisyonlama, ağrı ve ajitasyonun etkin yönetimi, aspirasyon ve bakım girişimlerinin planlı uygulanması, nörolojik ve hemodinamik izlemin sistematik yürütülmesi gibi hemşirelik uygulamalarının KİBAS'ın kontrolünde temel bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bazı rutin hemşirelik girişimlerinin uygun zamanlama ve teknikle uygulanmadığında intrakraniyal basınçta geçici artışlara yol açabileceği; bu nedenle

hemşirelik bakımının fizyolojik etkilerinin iyi bilinmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu durum, hemşirelik bakımının KİBAS yönetiminde pasif bir destek unsuru değil, aktif ve belirleyici bir bileşen olduğunu göstermektedir.

Derlemede dikkat çeken bir diğer önemli bulgu, KİBAS yönetimine ilişkin literatürün büyük ölçüde tıbbi tedaviler, cerrahi yaklaşımlar ve izlem teknolojileri üzerine yoğunlaştığı; hemşirelik bakımının klinik ve fizyolojik etkilerini doğrudan ele alan çalışmaların ise görece sınırlı olduğudur. Özellikle hemşirelik girişimlerinin KİB dalgalanmaları, ikincil beyin hasarı ve hasta prognozu üzerindeki etkilerini nicel olarak inceleyen çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu boşluk, hemşirelik bakımının kanıta dayalı biçimde standardize edilmesini ve klinik uygulamalara daha güçlü şekilde entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır.

KİBAS yönetiminde kanıta dayalı protokoller ve nöromonitörizasyon teknolojileri giderek daha fazla önem kazanmakla birlikte, bu teknolojilerin etkinliğinin büyük ölçüde hemşirelik izlemi, klinik yargı ve bakım süreçlerinin kalitesiyle ilişkili olduğu görülmektedir. Dolayısıyla ileri izlem yöntemlerinin varlığı tek başına yeterli değildir; bu sistemlerin doğru kullanımı, verilerin doğru yorumlanması ve klinik karar süreçlerine entegrasyonu hemşirelik bilgi ve yetkinliği ile mümkündür.

Öneriler

Bu derlemenin bulguları doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilebilir:

- KİBAS riski taşıyan hastalarda hemşirelik bakımına yönelik kanıta dayalı, uygulanabilir ve standart bakım protokollerinin kliniklerde yaygınlaştırılması önerilmektedir.
- Hemşirelerin KİB fizyopatolojisi, izlem yöntemleri ve bakım girişimlerinin fizyolojik etkileri konusunda sürekli eğitim programları ve simülasyon temelli öğrenme yaklaşımları ile desteklenmesi önemlidir.
- Hemşirelik girişimlerinin KİB üzerindeki kısa ve uzun dönem etkilerini değerlendiren prospektif ve deneysel araştırmaların artırılması gerekmektedir.
- Nöromonitörizasyon teknolojilerinin kullanıldığı kliniklerde, hemşirelerin veri yorumlama ve erken uyarı rollerini güçlendirecek çok disiplinli iş akışlarının oluşturulması önerilir.

- Gelecek çalışmalarda, hemşirelik bakımının yalnızca klinik sonuçlar değil, aynı zamanda ekonomik yük ve kaynak kullanımına etkisinin de ele alınması, sağlık sistemleri açısından yol gösterici olacaktır.

Sonuç olarak, kafa içi basınç artışı olan hastalarda hemşirelik yaklaşımı; erken tanı, güvenli izlem ve ikincil beyin hasarının önlenmesi açısından vazgeçilmezdir. Hemşirelik bakımının kanıta dayalı, standardize ve teknolojik gelişmelerle uyumlu biçimde yürütülmesi, hasta güvenliğinin ve klinik sonuçların iyileştirilmesinde temel bir anahtar olarak değerlendirilmektedir.

.

7- KAYNAKÇA

. **1-** Alomar, S. A., Bandah, S. T., Noman, G. A., Kadi, M., Abulnaja…s. Cureus, 15(1), e34262. https://doi.org/10.7759/cureus.34262

2- Altun Uğraş, G., Yüksel, S., Temiz, Z., Eroğlu, S., Şirin, K., Turan, Y., & Eroğlu, S. (2018). Effects of Different Head-of-Bed Elevations and Body Positions on Intracranial Pressure and Cerebral Perfusion Pressure in Neurosurgical Patients. The Journal of neuroscience nursing : journal of the American Association of Neuroscience Nurses, 50(4), 247–251. https://doi.org/10.1097/JNN.0000000000000386

3- Bruyneel, A., den Bulcke, J. V., Leclercq, P., & Pirson, M. (2025). Frequency, financial impact, and factors associated with cost outliers in intensive care units: a cohort study in Belgium. Critical care science, 37, e20250207. https://doi.org/10.62675/2965-2774.20250207

4- Che, Y., Lu, T., Wang, T., Zhao, H., Song, X., Zhan, Q., Zhang, C., Pan, H., Yang, K., & Wang, B. (2023). A Meta-analysis of the Clinical Efficacy of the Head-of-Bed Elevation for Patients With Acquired Brain Injury. The Journal of neuroscience nursing : journal of the American Association of Neuroscience Nurses, 55(3), 91–96. https://doi.org/10.1097/JNN.0000000000000703

5- Črnila, N. (2021). Changes In Intracranial Pressure in Patients with External Ventricular Drainage of CSF During Nursing Interventions. Croatian Nursin Journal, 5(2), 103–112.

6- Davis, W. D., Goettl, B., & Bowden, L. (2021). Electrocardio…al, 43(3), 212–216. https://doi.org/10.1097/TME.0000000000000357

7- DeNett, T., & Feltner, C. (2019). Hypertonic saline versus mannitol for the treatment of increased intracranial pressure in traumatic brain injury. Journal of the American Association of Nurse Practitioners, 33(4), 283–293. https://doi.org/10.1097/JXX.0000000000000340

8- Earthman, C., Siaron, K., Wilson, J., & Olson, D. M. (2023). Predictive Values for Time from Transducer Stopcock Closure to Accurate Intracranial Pressure Reading. Neurocritical care, 38(2), 422–428. https://doi.org/10.1007/s12028-022-01581-5

9- El-Hady, M. M., Babkair, L., Alharazi, R. M., Noorsaeed, S. M. W., & Mehrez Mahmoud Ali, M. (2025). Impact of Deep Versus Shallow Tracheal Suctioning on Cardiovascular Indices and Suction Induced Complications Among Mechanically Ventilated Patients. SAGE open nursing, 11, 23779608251374140. https://doi.org/10.1177/23779608251374140

10- Emergency Neurological Life Support (ENLS). (2023). Intracranial Hypertension and Herniation Protocol. Neurocritical Care Society.

11- Fenn, N. E., 3rd, & Sierra, C. M. (2019). Hyperosmolar Therapy for Severe Traumatic Brain Injury in Pediatrics: A Review of the Literature. The journal of pediatric pharmacology and therapeutics : JPPT : the official journal of PPAG, 24(6), 465–472. https://doi.org/10.5863/1551-6776-24.6.465

12- Frigieri, G., Brasil, S., Cardim, D., Czosnyka, M., Ferreira, M., Paiva, W. S., & Hu, X. (2025). Machine learning approach for noninvasive intracranial pressure estimation using pulsatile cranial expansion waveforms. NPJ digital medicine, 8(1), 57. https://doi.org/10.1038/s41746-025-01463-y

13- Frigieri, G., Brasil, S., Cardim, D., Czosnyka, M., Ferreira, M., Paiva, W. S., & Hu, X. (2025). Machine learning approach for noninvasive intracranial pressure estimation using pulsatile cranial expansion waveforms. NPJ digital medicine, 8(1), 57. https://doi.org/10.1038/s41746-025-01463-y

14- Garofalo, E., Neri, G., Bosco, V., Caroleo, Z., Virdò, F., Mastrangelo, H., Guzzi, G., Cammarota, G., Robba, C., Longhini, F., Bruni, A., & ONSD study group (2025). Efficacy of a theoretical-practical course for the ultrasound measurement of the optic nerve diameter in different healthcare operators. The ultrasound journal, 17(1), 28. https://doi.org/10.1186/s13089-025-00431-7

15- Garofalo, E., Neri, G., Bosco, V., Caroleo, Z., Virdò, F., Mastrangelo, H., Guzzi, G., Cammarota, G., Robba, C., Longhini, F., Bruni, A., & ONSD study group (2025). Efficacy of a theoretical-practical course for the ultrasound measurement of the optic nerve diameter in different healthcare operators. The ultrasound journal, 17(1), 28. https://doi.org/10.1186/s13089-025-00431-7

16- Graves, J. M., Lujan, S., Velonjara, J. L., Petroni, G., Guadagnoli, N., Bell, M. J., PEGASUS Argentina author group, & Vavilala, M. S. (2025). Pediatric severe TBI in South America:

Healthcare resource utilization before and during the COVID-19 pandemic. PLOS global public health, 5(5), e0004318. https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0004318

17- Guimarães, M. A. P., & da Cruz, I. C. F. (2023). The importance of nursing care in monitoring intracranial pressure in critically ill patients: A systematic review. Journal of Specialized Nursing Care.

18- Harrois, A., Anstey, J. R., Deane, A. M., Craig, S., Udy, A. A., McNamara, R., & Bellomo, R. (2020). Effects of Routine Position Changes and Tracheal Suctioning on Intracranial Pressure in Traumatic Brain Injury Patients. Journal of neurotrauma, 37(20), 2227–2233. https://doi.org/10.1089/neu.2019.6873

19- Hawryluk, G. W. J., Nielson, J. L., Huie, J. R., Zimmermann, L., Saigal, R., Ding, Q., Hirschi, R., Zeiler, F. A., Ferguson, A. R., & Manley, G. T. (2020). Analysis of Normal High-Frequency Intracranial Pressure Values and Treatment Threshold in Neurocritical Care Patients: Insights into Normal Values and a Potential Treatment Threshold. JAMA neurology, 77(9), 1150–1158. https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.1310

20- Huang, T. F., Su, Y. K., Su, I. C., Yeh, Y. K., Liu, H. W., Kan, I. H., Lu, Y. C., Chang, Y. P., Lin, C. M., Tu, Y. K., & Tseng, C. H. (2024). Risk, Predictive, and Preventive Factors for Noninfectious Ventriculitis and External Ventricular Drain Infection. Neurocritical care, 41(1), 109–118. https://doi.org/10.1007/s12028-023-01925-9

21- Jiang, Z., Xu, H., Wang, M., Li, Z., Su, X., Li, X., Li, Z., & Han, X. (2018). Effect of infusion speed of 7.5% hypertonic saline on brain edema in patients with craniocerebral injury: An experimental study. Gene, 665, 201–207. https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.05.005

22- KANDEMİR, D., AK, E. S., & AKYOLCU, N. Nöroşirürji Yoğun Bakım Ünitesinde Travmatik Beyin Yaralanması Sonrası Vücut Sıcaklığının Korunması ve Yönetimi.

23- Khawari, S., Al-Mohammad, A., Pandit, A., Moncur, E., Bancroft, M. J., Tariq, K., Cowley, P., Watkins, L., & Toma, A. (2023). ICP during head movement: significance of the venous system. Acta neurochirurgica, 165(11), 3243–3247. https://doi.org/10.1007/s00701-023-05620-8

24- Kırtıl, İ., ONGüN, P., & Öztekin, D. Karaciğer Transplantasyonu Sonrası Nörolojik İşlev Bozuklukları ve Hemşirelik Bakımı. Tıp Fakültesi Klinikleri Dergisi, 1(2), 53-59.

25- Koep, J. L., Taylor, C. E., Coombes, J. S., Bond, B., Ainslie, P. N., & Bailey, T. G. (2022). Autonomic control of cerebral blood flow: fundamental comparisons between peripheral and cerebrovascular circulations in humans. The Journal of physiology, 600(1), 15–39. https://doi.org/10.1113/JP281058

26- Köstekli, S., & Çelik, S. (2020). Nöroşirurji Yoğun Bakım Hastalarında Hemşirelik Girişimlerinin Serebral Doku Oksijenasyonuna Etkisi ve Hasta İzlemi. Cerrahi Ameliyathane Sterilizasyon Enfeksiyon Kontrol Hemşireliği Dergisi, 1(2), 54-71.

27- Li, Y., Gunna, S., Salter, A., Kim, Y., & Olson, D. M. (2025). External Ventricular Drain Column Height Fails to Explain Cerebrospinal Fluid Drainage Volumes. Nursing in critical care, 30(6), e70189. https://doi.org/10.1111/nicc.70189

28- Liebman, E., & Makic, M. B. F. (2022). Care of the Perioperative Patient at Risk for Increased Intracranial Pressure. Journal of perianesthesia nursing : official journal of the American Society of PeriAnesthesia Nurses, 37(2), 274–276. https://doi.org/10.1016/j.jopan.2021.12.011

29- Lima, D. U., Moreira, R. P., Cavalcante, T. F., Gasparino, R. C., Emidio, S. C. D., & Oliveira-Kumakura, A. R. S. (2022). Assessment of Neurological Status in Patients with Cerebrovascular Diseases through the Nursing Outcome Classification: A Methodological Study. Nursing reports (Pavia, Italy), 12(1), 152–163. https://doi.org/10.3390/nursrep12010016

30- Liu, C. C., Chen, I. W., Liu, P. H., Wu, J. Y., Liu, T. H., Huang, P. Y., Yu, C. H., Fu, P. H., & Hung, K. C. (2024). Efficacy of propofol-based anesthesia against risk of brain swelling during craniotomy: A meta-analysis of randomized controlled studies. Journal of clinical anesthesia, 92, 111306. https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2023.111306

31- Lu, S. J., & Wang, S. P. (2018). Hu li za zhi The journal of nursing, 65(3), 96–102. https://doi.org/10.6224/JN.201806_65(3).13

32- Martins, M. P., Ringholm, M., Engström, J., & Tisell, A. (2025). Enabling Continuous Intracranial Pressure Monitoring During MRI: A Technical Note on the Development of an MR-Safe Support Frame. Nursing in critical care, 30(6), e70225. https://doi.org/10.1111/nicc.70225

33- Mathew, S. K., S, A., Vasudevan, R. C., V, V., & Arjunan, P. (2025). Development and Validation of a Neuro-Intensive Care Protocol for Traumatic Brain Injury Management. Cureus, 17(2), e79566. https://doi.org/10.7759/cureus.79566

34- McAvoy, M., Lee, G., Boop, S., Greil, M. E., Durler, K. A., Young, C. C., Craft, L., Chesnut, R. M., & Wahlster, S. (2022). Fixed, Dilated, and Conversing-Unreactive Pupil With Preserved Consciousness Indicating Acutely Rising Intracranial Pressure due to Traumatic Intraparenchymal Contusions: Case Report and Review of the Literature. The Neurohospitalist, 12(2), 355–360. https://doi.org/10.1177/19418744211056613

35- McConnochie, R., O'Brien, A., & Parke, R. (2024). A single-centre observational study of delayed defaecation in brain-injured patients in an adult intensive care unit. Australian critical care : official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses, 37(2), 244–250. https://doi.org/10.1016/j.aucc.2023.07.002

36- Megjhani, M., Terilli, K., Kaplan, A., Wallace, B. K., Alkhachroum, A., Hu, X., & Park, S. (2021). Use of Clustering to Investigate Changes in Intracranial Pressure Waveform Morphology

in Patients with Ventriculitis. Acta neurochirurgica. Supplement, 131, 59–62. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59436-7_13

37- Mielcarek, J., Thompson, J. A., Appavu, B., Adelson, P. D., & Reuter-Rice, K. (2024). Nursing Interventions and Intracranial Pressure Change in Pediatric Patients With Severe Traumatic Brain Injury. Dimensions of critical care nursing : DCCN, 43(5), 231–238. https://doi.org/10.1097/DCC.0000000000000656

38- Miao, Q., Yan, Y., Zhou, M., & Sun, X. (2023). The Role of Nursing Care in the Management of Patients with Traumatic Subarachnoid Hemorrhage. Galen medical journal, 12, e3013. https://doi.org/10.31661/gmj.v12i0.3013

39- Nairon, E. B., Joseph, J., Kamal, A., Busch, D. R., & Olson, D. M. (2024). The Presence of Blood in a Strain Gauge Pressure Transducer Has a Clinical Effect on the Accuracy of Intracranial Pressure Readings. Critical care explorations, 6(5), e1089. https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000001089

40- Nattino, G., Gamberini, L., Brissy, O., Carrara, G., Chesnut, R., Chiarini, V., Chieregato, A., Csomos, A., Fleming, J. M., Gradisek, P., Kaps, R., Kyprianou, T., Lazar, I., Lemeshow, S., Mikaszewska-Sokolewicz, M., Paci, G., Rossi, C., Temkin, N., Xirouchaki, N., Giugni, A., … CREACTIVE Consortium (2023). Comparative Effectiveness of Intracranial Pressure Monitoring on 6-Month Outcomes of Critically Ill Patients With Traumatic Brain Injury. JAMA network open, 6(9), e2334214. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.34214

41- Olson, D. M., Nairon, E. B., Riskey, L. M., Salter, A., & Busch, D. R. (2025). Pressure Gradient as a Predictor of Time Needed to Drain Cerebrospinal Fluid Via an External Ventricular Drain. American journal of critical care : an official publication, American Association of Critical-Care Nurses, 34(2), 129–136. https://doi.org/10.4037/ajcc2025706

42- Promlek, K., Currey, J., Damkliang, J., & Considine, J. (2021). Evidence-practice gaps in initial neuro-protective nursing care: A mixed methods study of Thai patients with moderate or severe traumatic brain injury. International journal of nursing practice, 27(6), e12899. https://doi.org/10.1111/ijn.12899

43- Rashidinejad, P., Hu, X., & Russell, S. (2020). Patient-adaptable intracranial pressure morphology analysis using a probabilistic model-based approach. Physiological measurement, 41(10), 104003. https://doi.org/10.1088/1361-6579/abbcbb

44- Rechnitz, O., & Paldor, I. (2024). Intraoperative Intracranial Pressure Monitoring as an Intraoperative Guide During Operations for Relieving Elevated Intracranial Pressure. World neurosurgery, 192, e64–e70. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.09.005

45- Sacco, T. L., & Delibert, S. A. (2018). Management of Intracranial Pressure: Part I: Pharmacologic Interventions. Dimensions of critical care nursing : DCCN, 37(3), 120–129. https://doi.org/10.1097/DCC.0000000000000293

46- Sakamoto, V. T. M., Vieira, T. W., Viegas, K., Blatt, C. R., & Caregnato, R. C. A. (2021). Nursing assistance in patient care with external ventricular drain: a scoping review. Revista brasileira de enfermagem, 74(2), e20190796. https://doi.org/10.1590/0034-7167-2019-0796

47- Saria, M. G., & Kesari, S. (2021). Increased Intracranial Pressure: The Use of an Individualized Ladder Approach. Seminars in oncology nursing, 37(2), 151133. https://doi.org/10.1016/j.soncn.2021.151133

48- Shamoun, C. J., Baby, P., Bautista, C., Carlisle, B., Guanci, M. M., Gunna, S., Distefano, S., Joseph, S., Kruger, L., Li, Y., Martinez, R. C. K., Da Silvan, A. R., Okubo, N., Siaron, K. B., Sila, F., Wilson, S., Yousef, K. M., & Olson, D. M. (2025). Neuromonitoring in Neuroscience Nursing: Collaboration From the 2025 International Neuroscience Nursing Symposium. The Journal of

neuroscience nursing : journal of the American Association of Neuroscience Nurses, 57(4), 152–157. https://doi.org/10.1097/JNN.0000000000000838

49- Shanahan, R., Avsar, P., Watson, C., Moore, Z., Patton, D., McEvoy, N. L., Curley, G., & O'Connor, T. (2024). The impact of brain tissue oxygenation monitoring on the Glasgow Outcome Scale/Glasgow Outcome Scale Extended in patients with moderate to severe traumatic brain injury: A systematic review. Nursing in critical care, 29(6), 1460–1469. https://doi.org/10.1111/nicc.12973

50- Shakir, M., Altaf, A., Irshad, H. A., Hussain, N., Pirzada, S., Tariq, M., Trillo-Ordonez, Y., & Enam, S. A. (2023). Factors Delaying the Continuum of Care for the Management of Traumatic Brain Injury in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review. World neurosurgery, 180, 169–193.e3. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.09.007

51- Shen, Y., Wen, D., Liang, Z., Wan, L., Jiang, Q., He, H., & He, M. (2024). Brain tissue oxygen partial pressure monitoring and prognosis of patients with traumatic brain injury: a meta-analysis. Neurosurgical review, 47(1), 222. https://doi.org/10.1007/s10143-024-02439-4

52- Shaw, M., Hawthorne, C., Moss, L., Kommer, M., O'Kane, R., Piper, I., & BrainIT Group (2021). Time Series Analysis and Prediction of Intracranial Pressure Using Time-Varying Dynamic Linear Models. Acta neurochirurgica. Supplement, 131, 225–229. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59436-7_43

53- Sirisaen, K., Chaiviboontham, S., & Phornsuwannapha, S. (2024). Development and Implementation of a Clinical Nursing Practice Guideline for Prevention and Management of Increased Intracranial Pressure in Hemorrhagic Stroke Patients. SAGE open nursing, 10, 23779608241303025. https://doi.org/10.1177/23779608241303025

54- Uğraş, G. A., & Kanat, C. (2019). Hemşirelik Girişimleri İkincil Beyin Hasarına Neden Olabilir mi?. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, (1), 13-19.

55- Uğraş, G. A., Yüksel, S., Yılmaz, S. G., Şirin, K., Turan, Y., & Eroğlu, S. (2019). Nöroşirurji yoğun bakım ünitesinde ateş kontrolünde uygulanan hemşirelik girişimleri. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, (2), 271-276.

56- Walsh J. (2024). Measuring Intracranial Pressure. Critical care nurse, 44(1), 73–75. https://doi.org/10.4037/ccn2024495

57- Wang, Y., Fang, J., Liu, Y., Huang, H. P., Yan, W., & Chen, Y. (2025). Advances in Management of Subdural Effusion After Decompressive Craniectomy for Traumatic Brain Injury. The Journal of craniofacial surgery, 10.1097/SCS.0000000000011857. Advance online publication. https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000011857

58- Wu, M., Yin, X., Chen, M., Liu, Y., Zhang, X., Li, T., Long, Y., Wu, X., Pu, L., Zhang, M., Hu, Z., & Ye, L. (2020). Effects of propofol on intracranial pressure and prognosis in patients with severe brain diseases undergoing endotracheal suctioning. BMC neurology, 20(1), 394. https://doi.org/10.1186/s12883-020-01972-1

59- Xue, S., Zhang, Z., & Liu, Y. (2025). Effects of intracranial pressure monitoring in pediatric severe traumatic brain injury: a meta-analysis of cohort studies. Frontiers in neurology, 16, 1557820. https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1557820

60- Yağcı, H., & Tan, M. (2021). MENENJİTLERDE HEMŞİRELİK BAKIMI. ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 8(2), 38-43.

61- Zhao, A., Zeng, H., Yin, H., Wang, J., Yuan, W., Li, C., Zhong, Y., Ma, L., Liao, C., Zeng, H., & Li, Y. (2024). The application of two drainage angles in neurocritical care patients with complicated pneumonia: a randomized controlled trial. PeerJ, 12, e16997. https://doi.org/10.7717/peerj.16997

KATETER İLİŞKİLİ ÜRİNER SİSTEM ENFEKSİYONLARINDA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI

Prof. Dr. Gülay İpek Çoban

Atatürk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi

E-posta: gulaycoban@atauni.edu.tr – ORCID: 0000-0003-1075-0748

Hemşire Gül Çiçekçi

Atatürk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi

E-posta: gulcicekci67@org.atauni.edu.tr– ORCID: 0009-0005-4299-5434

Özet

Kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonları (Kİ-ÜSE), sağlık hizmeti ilişkili enfeksiyonlar içerisinde en yaygın ve önlenebilir nitelikte olanlardan biridir. Kateter kullanım sıklığının yoğun olduğu cerrahi servisler ve yoğun bakım üniteleri, enfeksiyon açısından en yüksek riskli klinik alanlar arasında yer almaktadır. Literatürde kateterin her gün yerinde kalmasının enfeksiyon olasılığını %3–7 artırdığı, hemşirelik temelli eğitim ve izlem programlarının ise Kİ-ÜSE oranlarını %20–47 oranında azaltabildiği bildirilmektedir. Bu nedenle kateterizasyon sürecinin her aşamasında kritik rol üstlenen hemşirelerin bakım yaklaşımının anlaşılması, hasta güvenliğinin geliştirilmesi açısından temel öneme sahiptir.

Bu derlemede , kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarında hemşirelik yaklaşımına ilişkin güncel literatür taranmış ; elde edilen bulgular hemşirelik bakım uygulamalarına ve klinik rehberler doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Literatür incelemesi sonucunda planlı ve sistematik hemşirelik yaklaşımlarının Kİ-ÜSE oranlarını anlamlı düzeyde azalttığı, kanıta dayalı uygulamalar arasında üriner kateterin endikasyon dışında kullanılmaması, aseptik teknik ve el hijyenine uyum, kapalı drenaj sisteminin korunması, kateterin uygun sabitlenmesi, mesane seviyesinin altında tutulması, günlük kateter bakım protokollerinin uygulanması ve erken kateter çıkarımını destekleyen hemşirelik protokollerinin geliştirilmesinin önemini vurgulandığı saptanmıştır.

Sonuç olarak kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının önlenmesinde hemşirelik uygulamaları kritik öneme sahiptir. Düzenli eğitimler, kanıta dayalı protokoller ve

multidisipliner yaklaşım enfeksiyon oranlarını azaltmada etkili görülmektedir. Bu nedenle kliniklerde standart bakım rehberlerinin uygulanması ve hemşirelik personelinin sürekli eğitimi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonları; üriner kateter; hemşirelik yaklaşımı; enfeksiyon kontrolü; kanıta dayalı uygulamalar

GİRİŞ

Sağlık kurumlarında görülen enfeksiyonlar, hastanın başvuru anında herhangi bir enfeksiyon bulgusunun olmaması ya da kuluçka döneminde bulunmaması koşuluyla, hastaneye yatışından itibaren üçüncü gün ve sonrasında gelişen enfeksiyonlar şeklinde tanımlanmaktadır (Sönmez, Öztürk & Abacıgil, 2021). Bu enfeksiyonlar, toplum sağlığı açısından ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Hastanede yatış süresinin uzaması, morbidite ve mortalite oranlarında artış görülmesi, geniş spektrumlu antibiyotiklere daha fazla ihtiyaç duyulması, izolasyon gereksiniminin yükselmesi ve ek tıbbi girişimlerin uygulanması gibi nedenlerle sağlık sistemine önemli ölçüde ekonomik yük getirmektedir (Gupta ve ark., 2023; Kurt & Yazıcı, 2021). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) 2022 küresel raporuna göre: sağlık hizmeti ile ilişkili enfeksiyonlar nedeni ile her 10 hastanın 1'i enfeksiyona bağlı yaşamını yitirmektedir . Yoğun bakım üniteleri ,cerrahi servisler , onkoloji servisleri , yenidoğan üniteleri yüksek riskli alanlar olarak görülmüştür (DSÖ,2022) .

Üriner kateter, mesaneye yerleştirilen ve idrarın drenajını sağlamak amacıyla kullanılan yumuşak/esnek, içi boş bir tüptür; üretral veya suprapubik yolla uygulanabilir (Children's Health Ireland, 2018).Mesane kateterizasyonu; tanı, tedavi ya da bakım amacıyla mesanenin üretradan ya da suprapubik yoldan uygun bir üriner kateter aracılığıyla boşaltılması için uygulanan invaziv bir girişimdir (Pişkin & Erbaş, 2024). Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC) 'nin kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının önlenmesine yönelik güncel rehberine göre mesane kateterizasyonu, yalnızca klinik olarak zorunlu durumlarda uygulanması gereken invaziv bir girişimdir ve kullanım amacı doğrultusunda üç temel biçimde sınıflandırılmaktadır. Kısa süreli kateterizasyon, genellikle cerrahi işlemler sırasında mesanenin boş tutulması veya akut idrar retansiyonunun giderilmesi gibi kısa süreli drenaj gereksinimlerinde tercih edilir. Aralıklı (intermittent) kateterizasyon, mesanenin gerektikçe boşaltılması esasına dayanmakta olup, CDC tarafından enfeksiyon

riskinin kalıcı kateterlere göre daha düşük olması sebebiyle mümkün olduğunda öncelikli yöntem olarak önerilmektedir. Uzun süreli (kalıcı, indwelling) kateterizasyon ise yalnızca alternatif drenaj yöntemlerinin uygun olmadığı, mesane işlev bozukluğu veya uzun süreli immobilite gibi durumlarda kullanılmalı ve enfeksiyon riskini azaltmak için kateterin yerinde kaldığı süre en aza indirilmelidir. CDC rehberi, her üç kateterizasyon türünde de temel ilkenin, gereksiz kateter kullanımından kaçınmak ve kullanılan kateterin en kısa sürede çıkarılmasını sağlamak olduğunu vurgulamaktadır (CDC, 2024). Bu kapsamda, mesane kateterizasyonu akut idrar retansiyonunun giderilmesi, steril idrar örneği alınması, mesane fonksiyonlarının değerlendirilmesi, mesane hacminin doğru izlenmesi ve hastanın sıvı alım–çıkarım dengesinin takip edilmesi gibi çeşitli klinik amaçlarla gerçekleştirilmektedir (Pişkin & Erbaş, 2024). Güncel Avrupa Üroloji Birliği rehberlerine (EAU) göre mesane kateterizasyonu, enfeksiyon ve komplikasyon riskleri göz önünde bulundurularak hastaya özgü şekilde planlanması gereken invaziv bir işlemdir. Kateter materyali seçiminde rehber, uzun süreli kullanım için %100 silikon kateterlerin daha biyouyumlu olmaları, tıkanmaya daha az eğilim göstermeleri ve alerjik reaksiyon riskinin düşük olması nedeniyle tercih edilmesini önermektedir (EAU, 2024). Lümen seçimine ilişkin olarak EAU, tek lümenli kateterlerin enfeksiyon riskini azaltmaları nedeniyle genel kullanım için uygun olduğunu, ancak üç lümenli kateterlerin yalnızca hematuri veya sürekli irrigasyon gerektiren ameliyat sonrası durumlarda kullanılması gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca EAUN 2024 rehberi, intermittent kateterizasyon yapan hastalarda hidrofilik kaplamalı kateterlerin üretral sürtünmeyi ve mikrotravmaları azalttığı için enfeksiyon riskini dolaylı olarak düşürdüğünü bildirmektedir (EAUN, 2024).

Kateter ile ilişkili üriner sistem enfeksiyonu(Kİ-ÜSE), üriner kateterin kullanımına bağlı olarak mikroorganizmaların kateter yoluyla idrar sistemine girmesi sonucu gelişen ve klinik bulgular ile laboratuvar kanıtlarıyla doğrulanan bir enfeksiyon olarak tanımlanmaktadır. WHO'ya göre bu enfeksiyonlar kateterin varlığı sırasında veya çıkarılmasından kısa süre sonra ortaya çıkabilir ve kateter kullanım süresi uzadıkça enfeksiyon riski belirgin biçimde artar (World Health Organization, 2023).

2.Kateter İlişkili Üriner Sistem Enfeksiyonları Epidemiyolojisi

Kateter kullanımına bağlı gelişen üriner sistem enfeksiyonları, sağlık hizmeti ilişkili enfeksiyonlar arasında küresel ölçekte önemini koruyan başlıca sorunlardan biridir.Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC) verilerine göre kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının kateter-gün başına bildirilen insidans hızları, sağlık kurumları ve hasta gruplarına göre değişmekle birlikte önemli bir enfeksiyon yükü oluşturmaya devam

etmektedir (CDC, 2024). Avrupa Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezi (ECDC) sürveyans verileri, yoğun bakım ünitelerinde üriner sistem enfeksiyonlarının nozokomiyal enfeksiyonlar içindeki oranının yıllara göre değişmekle birlikte yaklaşık %2–4 aralığında seyrettiğini ve bu enfeksiyonların önemli bir bölümünün kateter varlığıyla ilişkili olduğunu göstermektedir (ECDC, 2021; ECDC, 2023). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), kateter kullanım süresinin uzamasının enfeksiyon gelişimi açısından temel belirleyicilerden biri olduğunu vurgulamakta; kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarını hastaneler için ciddi maliyet, morbidite ve bakım yükü oluşturan ancak büyük ölçüde önlenebilir bir enfeksiyon türü olarak tanımlamaktadır (WHO, 2022).

Ülkeler bazında yürütülen çalışmalar, Kİ-ÜSE insidansının sağlık sistemleri ve uygulamalara göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Hindistan'da cerrahi serviste yürütülen bir çalışmada, kısa süreli kateterizasyon uygulanan 121 hastanın %9,9'unda üçüncü günde pozitif idrar kültürü saptanmıştır (Mohapatra ve ark., 2024). Türkiye'de yapılan çok merkezli bir çalışmada ise multidimensiyonel enfeksiyon kontrol stratejisinin uygulandığı 13 yoğun bakım ünitesinde Kİ-ÜSE oranı 5,65 vaka/1.000 kateter-gün olarak bildirilmiş; eğitim, gözlem, geri bildirim ve "bundle" uygulamalarını içeren bu yaklaşım sonucunda enfeksiyon oranlarında %47 oranında anlamlı bir azalma sağlandığı gösterilmiştir (Rosenthal ve ark., 2020).

Polonya'da Wroclaw Üniversitesi Hastanesi'nde yürütülen bir çalışmada 2.751 hasta değerlendirilmiş ve hastaların %8,83'ünde Kİ-ÜSE geliştiği, insidans hızının ise 7,04/1.000 kateter-gün olduğu bildirilmiştir (Kowalski ve ark., 2025). Bu oran, Türkiye verilerine kıyasla daha yüksek bir Kİ-ÜSE yüküne işaret etmektedir. İspanya'da 2007–2016 yılları arasında yürütülen çok merkezli ENVIN-UCI sürveyans çalışmasında yaklaşık 187.100 hasta verisi incelenmiş ve Kİ-ÜSE oranının 4,69'dan 3,8/1.000 kateter-gün düzeyine gerilediği saptanmıştır. Bu düşüş, uzun vadeli izlem ve sistematik kontrol önlemlerinin etkinliğini göstermesi açısından dikkat çekicidir (Álvarez-Lerma & Nuviáls, 2019).

Suudi Arabistan'da 2018–2019 yılları arasında 97 hastaneyi kapsayan geniş ölçekli bir analizde ise toplam 573.720 kateter-gün boyunca 965 CAUTI vakası kaydedilmiş ve ortalama Kİ-ÜSE insidansı 1,68/1.000 kateter-gün olarak belirlenmiştir (Aldecoa ve ark., 2022). Bu oran, karşılaştırılan ülkeler arasında bildirilen en düşük değerlerden biri olup, enfeksiyon kontrol önlemlerinin etkinliğini ve sağlık sistemleri arasındaki uygulama farklılıklarının Kİ-ÜSE oranları üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymaktadır.

Tüm bu ulusal ve uluslararası veriler birlikte değerlendirildiğinde, Kİ-ÜSE'nin dünya genelinde yaygın görülen, sağlık sistemlerine ciddi yük getiren ancak uygun enfeksiyon kontrol önlemleri, standart bakım paketleri ve multidisipliner yaklaşımlar ile büyük ölçüde önlenebilir nitelikte bir enfeksiyon olduğu açıkça görülmektedir.

3.Kateter İlişkili Üriner Sistem Enfeksiyonlarının Klinik ve Patolojik Özellikleri

3.1.Etiyoloji

Kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının (Kİ-ÜSE) temel etiyolojik mekanizması, üriner sisteme yerleştirilen kateterin yabancı cisim etkisi oluşturması ve mikroorganizmalar için uygun bir tutunma yüzeyi sağlamasıdır. Normal şartlarda steril olan mesane ortamı, kateter varlığıyla birlikte dış ortam mikroorganizmalarına doğrudan açık hâle gelmektedir. Kateter yüzeyine tutunan bakteriler kısa sürede ekstraselüler matriks içeren biyofilm tabakası oluşturarak hem konağın bağışıklık savunmasından hem de antibiyotiklerden korunabilmektedir. Bu durum enfeksiyonun kalıcı hâle gelmesine, tekrarlamasına ve tedaviye direnç gelişmesine zemin hazırlamaktadır. Literatürde etken mikroorganizmaların büyük çoğunluğunu gram negatif bakteriler oluşturmaktadır. Özellikle Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae ve Pseudomonas aeruginosa en sık bildirilen patojenlerdir. Bunun yanında Enterococcus türleri ve özellikle yoğun bakım hastalarında Candida türleri de etiyolojik ajanlar arasında yer almaktadır (Peng ve ark., 2018). Biyofilmin kateter yüzeyinde hızla gelişebilmesi, Kİ-ÜSE'nin yalnızca antibiyotik tedavisiyle kontrol altına alınmasının neden çoğu zaman yeterli olmadığını da açıklamaktadır.

3.2.Fizyopatoloji

Kİ-ÜSE'nin fizyopatolojik süreci, kateter varlığı ile birlikte mikroorganizmaların üriner sisteme giriş yapmasıyla başlamaktadır. Mikroorganizmalar hem üretra ile kateter arasındaki boşluktan ekstralüminal yolla yukarı doğru ilerleyebilmekte hem de drenaj sisteminde oluşan mikroskobik açıklıklar yoluyla intralüminal yolla mesaneye ulaşabilmektedir (Peng ve ark., 2018). Mesaneye ulaşan mikroorganizmalar burada çoğalarak mukozal inflamasyona, bakteriüri ve piyüri gelişimine yol açmaktadır. Enfeksiyon alt üriner sistem ile sınırlı kalabileceği gibi bazı olgularda üst üriner sisteme ilerleyerek piyelonefrite neden olabilmektedir. Daha ağır tablolarda mikroorganizmaların kan dolaşımına geçmesiyle bakteriyemi ve sepsis gelişebilmektedir. Kateterin mesanede uzun süre kalması, biyofilm tabakasının kalınlaşmasına ve bakteriyel yükün artmasına yol açarak bu fizyopatolojik sürecin hızlanmasına neden olmaktadır.

3.3.Klinik Bulgular

Kateteri bulunan hastalarda Kİ-ÜSE'nin klinik bulguları tipik üriner sistem enfeksiyonlarına göre daha silik seyredebilir; bu nedenle ateş, suprapubik hassasiyet ve kostovertebral açı ağrısı/hassasiyeti gibi bulgular önem taşır (CDC, 2024). Yaşlı bireylerde ise mental durum değişikliği/konfüzyon bazı olgularda ilk ve tek belirti olabilir (MedlinePlus, 2024).

3.4.Tanı Kriterleri

Kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonu (Kİ-ÜSE) tanısında, klinik bulgular ile mikrobiyolojik verilerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi Ulusal Sağlık Güvenliği Ağı (CDC/NHSN) kriterlerine göre, kateteri bulunan hastalarda ateş (>38°C), suprapubik hassasiyet ve kostovertebral açı ağrısı/hassasiyeti tanı açısından klinik olarak anlamlı kabul edilmektedir (CDC, 2024).

Mikrobiyolojik değerlendirmede, uygun yöntemle alınan idrar kültüründe $\geq 10^5$ CFU/mL düzeyinde tek bir mikroorganizmanın üremesi tanıyı desteklemektedir. Piyüri çoğu vakada enfeksiyona eşlik etmekle birlikte tek başına tanı koydurucu değildir. Enfeksiyonun kateter ilişkili kabul edilebilmesi için klinik bulguların kateter takılıyken ortaya çıkması veya kateterin çıkarılmasını izleyen 48 saat içinde gelişmesi gerekmektedir. Tanının bu bütüncül yaklaşımla konulması, gereksiz antibiyotik kullanımının ve yanlış tedavilerin önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir (CDC, 2024).

3.5.Risk Faktörleri

Li ve arkadaşlarının (2019) 8.785 hastayı kapsayan sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında, Kİ-ÜSE gelişimi açısından kadın cinsiyet, diyabet varlığı, önceki kateterizasyon öyküsü, yoğun bakımda yatış ve özellikle kateterin uzun süre takılı kalması anlamlı risk faktörleri olarak belirlenmiştir. Kateterin her geçen gün mesanede kalmasının bakteriüri ve semptomatik enfeksiyon riskini belirgin derecede artırdığı gösterilmiştir. Yoğun bakım hastalarında ise tablo daha ağır seyretmekte olup ileri yaş, sepsis varlığı, enfeksiyonun yatışın erken döneminde gelişmesi ve sekonder kan dolaşımı enfeksiyonu mortalite ile ilişkili önemli risk faktörleri arasında yer almaktadır (Hekimoğlu & Şahan, 2020). Bu veriler, Kİ-ÜSE'nin özellikle belirli hasta gruplarında daha yakından izlenmesi ve koruyucu önlemlerin daha erken dönemde uygulanması gerektiğini göstermektedir.

3.6.Komplikasyonlar

Kİ-ÜSE, hastalarda yalnızca lokal enfeksiyonla sınırlı kalmayıp ciddi sistemik komplikasyonlara yol açabilmektedir. Erkek hastalarda prostatit, epididimit ve orşit gibi komplikasyonlar sık görülürken; kadınlarda vulvovajinal irritasyon ve enfeksiyonlar ortaya çıkabilmektedir (Smith ve ark., 2019). Daha ağır tablolarda enfeksiyonun sistemik dolaşıma yayılmasıyla endokardit, osteomiyelit, septik artrit ve menenjit gibi yaşamı tehdit eden komplikasyonlar gelişebilmektedir. Ayrıca kateterin mekanik etkisine bağlı olarak üriner sistem travması, kanama, yanlış yerleştirme ve hasta konforunda belirgin azalma da sık görülen sorunlar arasındadır (Saint ve ark., 2018). Bu komplikasyonlar, Kİ-ÜSE'nin yalnızca basit bir hastane enfeksiyonu olmadığını, doğrudan yaşam kalitesini ve mortaliteyi etkileyen ciddi bir klinik tablo olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu klinik değerlendirmeler sonucunda, kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının basit bir üriner sorun olmaktan öte; biyofilm oluşumu, sessiz seyreden klinik belirtiler, geniş risk profili ve ciddi komplikasyon potansiyeli nedeniyle bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gereken önemli bir sağlık sorunu olduğu görülmektedir. Etiyoloji ve fizyopatolojide yer alan mekanizmalar, enfeksiyonun hızla ilerleyebileceğini ve erken dönemde fark edilmediğinde sistemik tablolara dönüşebileceğini ortaya koymaktadır. Klinik bulguların çoğu zaman özgül olmaması, tanı kriterlerinin dikkatle uygulanmasını ve hastanın yakın izlenmesini gerektirirken; risk faktörlerinin genişliği enfeksiyonun gelişme olasılığını artıran bireysel ve klinik değişkenlerin önemini göstermektedir. Komplikasyonların lokal enfeksiyondan sepsise kadar uzanan geniş bir yelpazede görülebilmesi ise Kİ-ÜSE ' nin sağlık hizmetlerinde öncelikli bir enfeksiyon türü olarak ele alınması gerektiğini desteklemektedir.

4.Kateter İlişkili Üriner Sistem Enfeksiyonlarında Kanıta Dayalı Hemşirelik Yaklaşımları , Kanıta Dayalı Uygulamalar ve Önleme Stratejileri

4.1.Hemşirelerin Bilgi , Tutum ve Davranış Düzeyi

Kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının (Kİ-ÜSE) önlenmesinde hemşirelerin bilgi düzeyi, davranışsal eğilimleri ve eğitimle desteklenen klinik uygulamaları birbirini tamamlayan kritik bileşenlerdir. Araştırmalar, hemşirelerin bilgi düzeylerinin çoğu zaman orta düzeyde olduğunu; ancak bilgi ile uygulama arasında belirgin bir boşluk bulunduğunu göstermektedir. Örneğin Arslan ve ark. (2022), hemşirelerde kateter numarası, drenaj sistemi ve torba değişim sıklığı gibi temel alanlarda bilgi eksiklikleri saptarken; Yemen ve Etiyopya'da yapılan çalışmalar, hem bilgi hem uygulama yeterliliğinin önemli oranda değişkenlik gösterdiğini bildirmiştir (Haza'a ve ark., 2021; Zegeye ve ark., 2023). Huang ve ark. (2023) tarafından yürütülen sistematik derleme ise bilgi düzeyinin çoğu ülkede kabul edilebilir olmasına rağmen,

klinik uygulamaların sıklıkla yetersiz kaldığını ve iş yükü, eğitim eksikliği, standart protokol yokluğu gibi faktörlerin bu boşluğu derinleştirdiğini ortaya koymuştur. Türkiye'de yapılan çalışmalar da benzer biçimde, aseptik yerleştirme ayrıntıları, kapalı sistem sürekliliği ve günlük gereklilik değerlendirmesi gibi kritik alanlarda eksiklikler olduğunu göstermektedir (Karadağ Arlı & Bakan, 2020).

Bilginin uygulamaya yansımasını etkileyen önemli alanlardan biri hemşirelik davranışları ve davranışsal engellerdir. Jones ve ark. (2019), yaşlı bireylerde Kİ-İYE oranlarını azaltmaya yönelik davranış temelli hemşirelik müdahalelerini sistematik olarak incelemiş ve geri bildirim mekanizmaları, bakım protokollerinin standardizasyonu ve hatırlatıcı uygulamaların enfeksiyon oranlarını anlamlı şekilde düşürdüğünü göstermiştir. Ancak çalışmalar arasında metodolojik farklılıkların bulunduğu ve bazı müdahalelerin etkisinin sınırlı kaldığı da belirtilmiştir. Atkins ve ark. (2020) tarafından yapılan sistematik derleme ise hemşirelerin bilgi düzeyinin, yönetsel destek, iş yükü ve geri bildirim sistemlerinin müdahale başarısını doğrudan etkilediğini; ancak alışkanlıklar, yerleşmiş uygulama kültürü ve personel eksikliği gibi davranışsal engeller nedeniyle sahada uyumun her zaman sağlanamadığını vurgulamıştır. Bu bulgular, Kİ-ÜSE'nin önlenmesinde yalnızca teknik bilgi değil, hemşirenin davranışsal eğilimleri ve sistemsel çalışma koşullarının da belirleyici olduğunu göstermektedir.

Bilgi ve davranış boyutunun yanında eğitim temelli müdahaleler, hemşirelerin kateter bakımındaki klinik yetkinliklerini güçlendiren önemli araçlardır. Lengetti ve ark. (2018) tarafından yürütülen randomize kontrollü çalışmada, yeni mezun hemşirelere verilen ustalık öğrenme (mastery learning) temelli eğitimin, geleneksel eğitime kıyasla kateter yerleştirme becerilerini anlamlı düzeyde iyileştirdiği; kritik basamakların hatasız ve kalıcı biçimde uygulanmasını sağladığı gösterilmiştir. Eğitim alan hemşirelerin klinik farkındalık düzeyleri de daha yüksek bulunmuş ve kateter yerleştirmede yapılan hataların önemli bir bölümünün eğitim eksikliğine bağlı olabileceği belirtilmiştir. Bu sonuçlar, yapılandırılmış ve tekrarlayan eğitim programlarının Kİ-ÜSE'nin önlenmesinde güçlü bir koruyucu etki oluşturabileceğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, hemşirelerin bilgi düzeyi tek başına yeterli değildir; davranışsal bariyerlerin azaltılması, geri bildirim mekanizmalarının güçlendirilmesi ve kanıta dayalı eğitim modellerinin klinik pratiğe entegre edilmesi Kİ-ÜSE'nin önlenmesinde tamamlayıcı bir etki yaratmaktadır. Bu birleşik yaklaşım, hemşirelik bakımının kalitesini

artırmakla kalmayıp sürdürülebilir enfeksiyon kontrolü için gerekli olan sistemsel dönüşümü de desteklemektedir.

4.2. Kateter İlişkili Üriner Sistem Enfeksiyonlarında Kanıta Dayalı Uygulamalar ve Hemşirelik Girişimleri

Kanıta dayalı uygulama; klinik deneyimle elde edilen profesyonel karar verme becerisinin, hastaların değer ve tercihleri ile sistematik araştırmalar sonucu ortaya konulan en iyi bilimsel kanıtların bütünleştirilmesi sürecidir. Bu yaklaşım, özellikle önlenebilir nitelikte olan sağlık bakımıyla ilişkili enfeksiyonların azaltılmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Klinik rehberlerde yer alan kanıta dayalı uygulamalar ile kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının (KİÜSE) yaklaşık %17–69'unun önlenebileceği, her yıl Kİ-ÜSE'ye bağlı 380.000 enfeksiyon ve 9.000 ölümün engellenebileceği bildirilmektedir (CDC, 2019). Bu veriler hem bireysel hasta güvenliği hem de sağlık sistemleri açısından kanıta dayalı bakım yaklaşımlarının vazgeçilmez olduğunu göstermektedir.

Uluslararası rehberlerde Kİ-ÜSE ' nin önlenmesine yönelik ortak öneriler arasında; aseptik tekniklere tam uyum, kateter bakımının düzenli sürdürülmesi, el hijyeninin sağlanması ve kateter gerekliliğinin günlük olarak değerlendirilmesi yer almaktadır (Hacıosmanoğlu & Yazıcı, 2022). Benzer şekilde Koca ve Gürkan (2020) tarafından bildirilen kanıta dayalı hemşirelik girişimleri; kapalı drenaj sisteminin korunması, idrar torbasının mesane seviyesinin altında tutulması, kateterin en kısa sürede çıkarılması, hemşirelerin eğitim yoluyla güçlendirilmesi ve hastaların bilgilendirilmesini içermektedir. Bu uygulamalar, önleme stratejilerinin sahaya doğrudan yansımasını sağlayan temel bileşenleri oluşturmaktadır.

Güncel sistematik derleme ve meta-analiz bulguları, hemşirelerin aktif rol üstlendiği protokollerin KİÜSE'nin önlenmesinde son derece etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Su (2025) tarafından gerçekleştirilen ve 27.965 müdahale ile 30.230 kontrol grubunun karşılaştırıldığı çalışmada, hemşire odaklı protokollerin KİÜSE insidansını %55,9 oranında azalttığı gösterilmiştir. Bu bulgu, hemşirelerin hekim talimatı olmaksızın kanıta dayalı karar süreçlerine katılabilmesinin hasta güvenliğini doğrudan güçlendirdiğini ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, Katar/Doha'da bir kardiyak yoğun bakım ünitesinde yürütülen kalite geliştirme programında el hijyeni, aseptik teknik, kapalı drenaj sistemleri, günlük gereklilik değerlendirmesi ve hemşirelere otomatik kateter sonlandırma yetkisi gibi bütüncül uygulamalar hayata geçirilmiştir. Bu girişimler sonucunda KİÜSE oranı tamamen sıfırlanmış ve ünite 280 gün boyunca hiç enfeksiyon bildirmemiştir (Gupta ve ark., 2023). Bu sonuç, hemşire

güçlendirmesi ile desteklenen sistematik bakım paketlerinin yüksek klinik etki oluşturduğunu göstermektedir.

Çok modlu ve disiplinler arası yaklaşımların da KİÜSE'nin önlenmesinde önemli katkılar sunduğu görülmektedir. Sykora ve arkadaşlarının (2025) çalışmasında, kurum genelinde yapılandırılmış eğitimler, günlük kateter endikasyonu değerlendirmesi, bakım protokollerinin güncellenmesi ve düzenli geri bildirim sistemleri ile CAUTI insidansında belirgin azalma sağlanmıştır. Benzer biçimde Plando ve arkadaşları (2024), rehabilitasyon merkezinde uyguladıkları multidisipliner kalite geliştirme programı sonrasında KİÜSE insidansında anlamlı düşüş elde etmiş ve hasta ile aile katılımının sürece olumlu katkı sağladığını bildirmiştir.

Eğitim temelli dijital girişimler de kanıta dayalı bakımın güçlenmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Avustralya'da yürütülen e-öğrenme temelli ortak tasarım çalışmasında, hemşirelerin idrar kateteri yönetimine ilişkin bilgi ve uygulama yeterliklerinin anlamlı düzeyde arttığı ve hasta öz-yönetiminin desteklendiği gösterilmiştir (Alex ve ark., 2025). Buna ek olarak, Texas'ta geliştirilen hemşire duyarlı gösterge temelli kalite geliştirme araç setinin de CAUTI gibi enfeksiyonların izlenmesi ve sürdürülebilir biçimde azaltılmasında uygulanabilir bir sistem sunduğu bildirilmektedir (McVey ve ark., 2022).

Hemşire liderliğinde yürütülen paketlenmiş bakım yaklaşımlarının klinik sonuçlara yansıması da dikkat çekicidir. Dört Avustralya hastanesinde uygulanan "No-CAUTI" programı sonrasında kalıcı idrar sondası kullanım oranlarında %50'ye varan azalma sağlanmış ve sonda prevalansı %12'den %10'a gerilemiştir (Giles ve ark., 2020). Nörolojik hasta grubunda yürütülen JBI temelli en iyi uygulama projesinde ise bakım kılavuzlarına uyum, erken kateter çıkarılması ve uygun dokümantasyon oranlarında anlamlı artış sağlanmıştır (Liang ve ark., 2019).

Ülkeler arası farklılıkları ortaya koyan Japonya ulusal anket sonuçları ise rehberlerin tek başına yeterli olmadığını, kanıta dayalı uygulamaların sahaya sistematik biçimde aktarılması gerektiğini vurgulamaktadır (Sakamoto ve ark., 2019). Bununla birlikte Çin'de gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmada, küme hemşirelik yaklaşımı ile KİÜSE insidansı anlamlı düzeyde azaltılmış; yaşam kalitesi ve hasta memnuniyeti artırılmıştır (Wang ve ark., 2025). Uzun süreli kateter kullanımına yönelik algıları ele alan nitel bir çalışmada ise hasta ve sağlık profesyonellerinin bakım süreçlerine aktif katılımının klinik uygulamaların başarısını doğrudan etkilediği ortaya konmuştur (Tripathee ve ark., 2025).

Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde; KİÜSE'nin önlenmesinde kanıta dayalı uygulamaların tekil girişimlerden çok, hemşire liderliğinde yürütülen, eğitimle desteklenen, standart protokollere dayanan ve multidisipliner iş birliğini içeren bütüncül yaklaşımlar ile etkili olduğu görülmektedir. Günlük kateter gerekliliğinin sorgulanması, aseptik tekniklerin titizlikle uygulanması, kapalı drenaj sisteminin korunması ve erken kateter çıkarılması gibi temel uygulamalar; hem enfeksiyon insidansını azaltmakta hem de hasta güvenliği, bakım kalitesi ve sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından güçlü bir koruyucu etki oluşturmaktadır.

Kateter takma ve bakım işlemleri hemşirelerin sorumluluğunda olsa da, kateterin çıkarılma kararının çoğunlukla hekim tarafından verilmesi, uygulamada zamanlama açısından farklılıklara yol açabilmektedir. Literatürde kateterin ideal çıkarılma süresi konusunda net bir fikir birliği bulunmadığı ve belirli bir standardın olmamasının gereksiz kateter kalış süresine neden olabildiği bildirilmektedir (Niederhauser ve ark., 2018; Quinn ve ark., 2020). Oysa mevcut bilimsel kanıtlar, kateterin gereksiz yere uzun süre tutulmasının enfeksiyon riskini anlamlı düzeyde artırdığını göstermektedir.

Fang, Mu ve Chow (2024) tarafından yapılan sistematik derleme ve meta-analizde, vajinal cerrahi sonrası kateterin erken çıkarılmasının idrar yolu enfeksiyonu riskini anlamlı düzeyde azalttığı, hastanede kalış süresini kısalttığı ve hasta konforunu artırdığı gösterilmiştir. Postoperatif idrar retansiyonu açısından ise erken ve geç çıkarım arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Benzer şekilde Mathevi ve ark. (2022) kolorektal cerrahi sonrası kateterin 24–48 saat içinde çıkarılmasının çoğu hasta için güvenli olduğunu bildirmiştir. Nollen ve arkadaşlarının (2022) sistematik derlemelerinde de erken postoperatif kateter çıkarılmasının iyileşmeyi desteklediği ve hastanede kalış süresini kısalttığı, ancak 24 saatten uzun süre kateter kalmasının İYE insidansını artırdığı vurgulanmıştır.

Öte yandan akut inme hastalarında erken dönemde kalıcı idrar sondası uygulanmasının prognostik etkisinin değerlendirildiği HeadPoST çalışmasının ikincil analizinde, erken kateterizasyonun hem idrar yolu enfeksiyonu riskini artırdığı hem de fonksiyonel iyileşmeyi olumsuz etkilediği gösterilmiştir (Ouyang ve ark., 2021). Bu bulgular, özellikle akut dönemde gereksiz kateter kullanımının hasta prognozunu olumsuz etkileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Kısa süreli kateter kullanımının güvenli olduğu yönündeki yaygın algının aksine, Gyesi-Appiah ve ark. (2020) tarafından yapılan entegre sistematik derlemelerde, kısa süreli dahi olsa idrar kateterinin enfeksiyon riskini artırdığı, hastanede yatış süresini uzattığı ve bazı çalışmalarda mortalite ile ilişkilendirildiği bildirilmiştir. Ortopedik hasta grubunda yapılan meta-analizde ise,

total diz artroplastisi sonrası kalıcı kateter kullanılan hastalarda idrar yolu enfeksiyonu riskinin anlamlı düzeyde arttığı, ancak idrar retansiyonu açısından anlamlı fark olmadığı gösterilmiştir (Shuai & Li, 2021).

Jinekolojik ve obstetrik cerrahi hastalarında yapılan sistematik derleme ve meta-analizde, kateterin ameliyat sonrası 6. saatte çıkarılmasının 24 saat ve sonrasında çıkarılanlara göre İYE gelişimini anlamlı düzeyde azalttığı, yeniden kateterizasyon ve retansiyon açısından ek risk oluşturmadığı bildirilmiştir (Liao & Xie, 2021). Üroloji cerrahisi hastalarında ise kateter süresinin 7 günden kısa tutulmasının enfeksiyon, sepsis ve üriner komplikasyonları anlamlı düzeyde azalttığı gösterilmiştir (Shan, Hasnain & Liu, 2023).

Özel hasta gruplarında ise kanıt düzeyinin daha sınırlı olduğu görülmektedir. Böbrek nakli sonrası erken ve geç kateter çıkarımını karşılaştıran Cochrane sistematik derlemesinde, mevcut kanıtların çok düşük kesinlik düzeyine sahip olduğu ve erken çıkarımın enfeksiyon açısından net bir üstünlük göstermediği bildirilmiştir (Goodfellow ve ark., 2023). Bu durum, bazı hasta gruplarında bireyselleştirilmiş klinik kararların önemini ortaya koymaktadır.

Kalıcı idrar sondası olan hastalarda kateter çekilmeden önce uygulanan klempleme işlemi, uzun yıllardır klinik uygulamada tartışmalı bir konu olmuştur. Ma, Gu ve Fan (2023) tarafından yapılan sistematik derleme ve meta-analizde, klempleme yapılan hastalar ile doğrudan kateteri çıkarılan hastalar karşılaştırılmış; klemplemenin ilk spontan miksiyon süresi, rezidüel idrar miktarı, idrar retansiyonu ve KİÜSE gelişimi açısından anlamlı bir üstünlük sağlamadığı gösterilmiştir. Araştırmacılar, rutin klempleme uygulamasının gerekli olmadığını ve kanıta dayalı klinik uygulamalarda doğrudan kateter çıkarımının güvenli bir yaklaşım olduğunu vurgulamıştır.

Ayrıca Ma ve arkadaşlarının (2022) yaptığı başka bir meta-analizde, 7 günden kısa süreli kateter kullanımında klempleme işleminin idrar yolu enfeksiyonu riskini artırdığı ve ilk idrar yapma süresini uzattığı bildirilmiştir. Bu bulgular, rutin klempleme uygulamasının enfeksiyon açısından potansiyel risk taşıdığını ve uygulamanın geleneksel alışkanlıklardan ziyade bilimsel kanıtlara göre şekillendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kalıcı idrar kateteri yerleştirilmeden önce yapılan periüretral temizliğin enfeksiyon riskine etkisi üzerine yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar bildirilmiştir. Huang ve arkadaşlarının (2018) sistematik derleme ve meta-analizinde, yalnızca su ile yapılan periüretral temizliğin povidon-iyot ve klorheksidin gibi antiseptik ajanlara kıyasla idrar yolu enfeksiyonu riskini artırmadığı, her iki yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı gösterilmiştir.

Buna karşılık, Fasugba ve ark. (2019) tarafından yürütülen çok merkezli randomize kontrollü çalışmada, %0,1 klorheksidin ile yapılan meatal temizliğin, normal salin ile yapılan temizliğe kıyasla kateter ilişkili asemptomatik bakteriüride %74, KİÜSE insidansında ise %94 oranında azalma sağladığı bildirilmiştir. Bu bulgular, antiseptik kullanımının uygun koşullarda güçlü koruyucu etki oluşturabileceğini göstermektedir.

Yoğun bakım hastalarında yapılan bir başka randomize kontrollü çalışmada, komada olan hastalara uygulanan düzenli normal salin ile mesane irrigasyonunun KİÜSE gelişimini anlamlı düzeyde azalttığı ve güvenli bir girişim olduğu ortaya konmuştur (Ramezani ve ark., 2018). Toplumda aralıklı kateterizasyon yapan bireylerde ise yıllık İYE sıklığının oldukça yüksek olduğu (%44,2) ve antiseptik kullanımına ilişkin kanıtların halen sınırlı olduğu bildirilmiştir (Mitchell ve ark., 2021).

Perine hijyenine yönelik basit girişimlerin de enfeksiyon riskini azaltabileceği gösterilmiştir. İspanya'da yapılan randomize kontrollü çalışmada, kalp cerrahisi sonrası yatalak hastalarda su-sabun ile temizlik yerine ıslak mendil kullanımının KİÜSE gelişimini anlamlı düzeyde azalttığı bildirilmiştir (Castellà ve ark., 2024).

Mevcut kanıtlar birlikte değerlendirildiğinde; kateterin mümkün olan en kısa sürede çıkarılmasının, kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının önlenmesinde en etkili ve güvenli yaklaşımlardan biri olduğu açıkça görülmektedir. Rutin klempleme uygulaması ise enfeksiyon riskini azaltmada kanıta dayalı bir fayda sağlamamakta, aksine kısa süreli kateter kullanımında enfeksiyon riskini artırabilmektedir. Antiseptik solüsyonlar ve perine hijyenine yönelik uygulamalar ise uygun hasta grubunda ve doğru protokollerle kullanıldığında enfeksiyon riskini anlamlı düzeyde azaltmaktadır. Bu bulgular, hemşirelerin kateter yönetiminde zamanlama, hijyen ve bakım uygulamalarında kanıta dayalı kararlar almasının KİÜSE'nin önlenmesinde kritik rol üstlendiğini göstermektedir.

4.3. Teknoloji Destekli ve Yenilikçi Hemşirelik Yaklaşımları

Günümüzde kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının (KİÜSE) önlenmesinde yalnızca bakım uygulamaları değil, kateter materyali, tasarımı ve dijital destek sistemleri de giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Antimikrobiyal özellikli kateterler, elektronik hatırlatıcı sistemler ve kateter güvenliğini artırmaya yönelik sabitleyici cihazlar, hem enfeksiyon riskinin azaltılması hem de bakım süreçlerinin standardizasyonu açısından yenilikçi çözümler sunmaktadır.

Antibiyotikli ve antimikrobiyal özellik taşıyan kateter yapılarına yönelik klinik kanıtlar giderek güçlenmektedir. Tae ve ark. (2022), mesane kanseri nedeniyle sistektomi geçiren hastalarda antibiyotikli silikon kateter kullanımının enfeksiyon oranını %17 azalttığını ve hastanede kalış süresini ortalama 1,2 gün kısalttığını bildirmiştir. Duque-Sanchez ve ark. (2023) ise antimikrobiyal yüzey özelliklerine sahip yeni nesil kateterlerin antibiyotik kullanımını azaltarak enfeksiyon ve antibiyotik direnci oranlarının düşürülmesinde önemli katkılar sağlayabileceğini belirtmiştir.

Teknoloji destekli uygulamalardan biri olan elektronik hatırlatıcı sistemler de gereksiz kateter kullanımının önlenmesinde etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Mitchell ve ark. (2019) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde 10 farklı serviste yürütülen basamaklı randomize kontrollü çalışmada, kateter torbasına yerleştirilen elektronik CATH TAG hatırlatıcı sistemi ile sağlık ekibine kateter gerekliliğinin günlük olarak değerlendirilmesi sağlanmış ve servis hastalarında kateter kullanım süresi ile gereksiz kateter oranında anlamlı azalma elde edilmiştir. Buna karşın yoğun bakım ünitelerinde uygulamanın etkisinin sınırlı kaldığı; bunun hastaların hemodinamik instabilitesi, sık invaziv girişimler ve kateter endikasyonlarının zaten günlük olarak yakın izlem altında olmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Bu bulgular, elektronik hatırlatıcılara dayalı teknolojilerin özellikle servis ortamlarında hemşirelik bakımına güçlü bir destek sunduğunu göstermektedir.

Kateter güvenliğine yönelik mekanik yenilikler de enfeksiyonların dolaylı olarak önlenmesine katkı sağlamaktadır. İspanya'da yoğun bakım hastaları üzerinde yürütülen randomize kontrollü çalışmada, kalıcı idrar sondasının özel bir sabitleme cihazı ile tespit edilmesinin kateterin yer değiştirmesini azalttığı, tıbbi yapışkana bağlı cilt hasarını anlamlı düzeyde düşürdüğü ve kateter stabilitesini artırdığı gösterilmiştir (Calpe-Damians ve ark., 2024). Her ne kadar çalışmada doğrudan enfeksiyon oranlarında belirgin bir düşüş gösterilememiş olsa da, kateter stabilitesinin korunmasının KİÜSE gelişimini dolaylı olarak önleyebilecek koruyucu bir girişim olduğu vurgulanmıştır.

Mevcut kanıtlar, KİÜSE'nin önlenmesinde yalnızca bakım protokollerinin değil, aynı zamanda teknolojik ve yenilikçi yaklaşımların da tamamlayıcı ve güçlendirici bir rol üstlendiğini göstermektedir. Antimikrobiyal kateterler, elektronik hatırlatıcı sistemler ve kateter güvenliğini artırmaya yönelik sabitleyici cihazlar, hemşirelik bakımının etkinliğini artırmakta; gereksiz kateter kullanımının azaltılması, bakımın standardize edilmesi ve hasta güvenliğinin güçlendirilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır. Bu bağlamda teknoloji destekli

hemşirelik girişimleri, Kİ-ÜSE'nin önlenmesinde geleceğe yönelik güçlü bir kanıta dayalı uygulama alanı olarak değerlendirilmektedir.

5.Sonuç ve öneriler

Bu literatür incelemesi, kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarının (Kİ-ÜSE) cerrahi servisler ve yoğun bakım ünitelerinde hasta güvenliğini tehdit eden, sağlık sistemlerine ciddi klinik ve ekonomik yük getiren, ancak uygun uygulamalarla büyük ölçüde önlenebilir bir enfeksiyon türü olduğunu göstermektedir. Bulgular, kateterin gereksiz ve uzun süreli kullanımının enfeksiyon riskini artırdığını; buna karşılık hemşire liderliğinde yürütülen planlı, sistematik ve kanıta dayalı bakım yaklaşımlarının Kİ-ÜSE oranlarını anlamlı düzeyde azaltabildiğini ortaya koymaktadır. Literatürde öne çıkan temel koruyucu bileşenler; endikasyon dışı kateter kullanımının önlenmesi, aseptik yerleştirme ve el hijyenine tam uyum, kapalı drenaj sisteminin sürekliliğinin korunması, kateter ve drenaj torbasının doğru pozisyonlanması, düzenli bakım protokollerinin uygulanması ve erken kateter çıkarımını destekleyen hemşirelik protokollerinin sistematik biçimde yürütülmesidir. Ayrıca rutin klempleme gibi geleneksel uygulamaların kanıtla desteklenmediği; buna karşın rehber temelli standardizasyon, geri bildirim mekanizmaları ve teknoloji destekli hatırlatıcı sistemlerin özellikle servis ortamlarında gereksiz kateter günlerini azaltmada tamamlayıcı katkılar sunduğu görülmektedir. Hemşirelerin bilgi düzeyi tek başına yeterli olmayıp, iş yükü, standart protokol eksikliği ve davranışsal bariyerler nedeniyle bilginin uygulamaya her zaman yansımadığı; bu nedenle sürdürülebilir sonuçlar için kurumsal destekle güçlendirilmiş bir uygulama kültürünün gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

Kateter gerekliliğinin günlük değerlendirilmesi: Kateter endikasyonu her gün yapılandırılmış şekilde sorgulanmalı; endikasyon ortadan kalktığında kateter gecikmeden çıkarılmalıdır.

Standart bakım protokollerinin uygulanması: Aseptik teknik, el hijyeni, kapalı drenaj sisteminin korunması, torbanın mesane seviyesinin altında tutulması, bağlantıların gereksiz ayrılmaması ve kateterin uygun şekilde sabitlenmesi gibi uygulamalar kliniklerde "bakım paketi/bundle" yaklaşımıyla standartlaştırılmalıdır.

Erken çıkarma stratejilerinin güçlendirilmesi: Cerrahi hastalarda erken çıkarma zamanlaması için servis bazlı algoritmalar oluşturulmalı; hemşirelerin protokol temelli biçimde kateterin sonlandırılmasını başlatabildiği modeller desteklenmelidir.

Eğitim ve yetkinlik geliştirme: Hemşirelere düzenli aralıklarla kanıta dayalı kateter yönetimi eğitimi verilmeli; özellikle yeni başlayan personelde beceri eğitimleri (simülasyon/ustalık öğrenme gibi) ile kritik basamaklar pekiştirilmelidir.

Denetim–geri bildirim ve kayıt sistemi: Kateter-gün izlemi, bakım uyumu ve Kİ-ÜSE oranları düzenli sürveyansla takip edilmeli; ekiplere periyodik geri bildirim verilerek sürdürülebilir iyileştirme sağlanmalıdır.

Uygunsuz/geleneksel uygulamaların azaltılması: Kanıtla desteklenmeyen rutin klempleme gibi uygulamalar yerine rehberlere dayalı güvenli çıkarma yaklaşımları benimsenmelidir.

Teknoloji ve yenilikçi çözümlerin entegrasyonu: Elektronik hatırlatıcılar, dijital kontrol listeleri, uygun hasta gruplarında antimikrobiyal kateterler ve kateter stabilitesini artıran sabitleyici sistemler, bakımın standardizasyonunu desteklemek amacıyla değerlendirilebilir.

Multidisipliner iş birliği: Enfeksiyon kontrol ekibi, hekimler ve hemşireler arasında ortak hedeflerle yürütülen multidisipliner yaklaşım güçlendirilmelidir.

Sonuç olarak, Kİ-ÜSE'nin azaltılmasında belirleyici olan unsur yalnızca kateterin varlığı değil; kateterin neden, nasıl, ne kadar süreyle kullanıldığı ve bu süreçte hemşirelik bakımının kanıta dayalı, standart ve sürdürülebilir biçimde yürütülmesidir. Kliniklerde rehber temelli protokollerin uygulanması, sürekli eğitim ve etkin izlem–geri bildirim mekanizmaları ile Kİ-ÜSE oranlarının anlamlı düzeyde azaltılabileceği değerlendirilmektedir.

6.KAYNAKÇA

1.Alex, J., Ferguson, C., Ramjan, L. M., Fishburn, M. L., Montayre, J., & Salamonson, Y. (2025). Development and evaluation of a spaced eLearning intervention for nurses in enhancing urinary catheter management - A co-design study in partnership with research end-users. Nurse Education Today, 144, 106448. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2024.106448

2-Aldecoa, Y. S., Alanazi, A. A., et al. (2022). Rates of urinary catheter-associated urinary tract infection in Saudi MOH hospitals: A 2-year multi-centre study. International Journal of Infection Control, 18(1). https://ijic.info/article/view/21703

3.Álvarez-Lerma, F., & Nuviáls, X. (2019). Is a project needed to prevent urinary tract infection in patients admitted to Spanish ICUs? Medicina Intensiva, 43(2), 63–72. https://medintensiva.org/index.php?p=revista&pii=S2173572718302261

4.Arslan, S., & Üzen Cura, Ş. (2022). Hemşirelerin kalıcı üriner kateterizasyona ilişkin bilgi düzeylerinin ve etkileyen faktörlerin belirlenmesi. Ordu Üniversitesi Hemşirelik Çalışmaları Dergisi, 5(3), 329–338. https://doi.org/10.38108/ouhcd.1019517

5-Atkins, L., Sallis, A., Chadborn, T., Shaw, K., Schneider, A., Hopkins, S., Bunten, A., Michie, S., & Lorencatto, F. (2020). Reducing catheter-associated urinary tract infections: a systematic review of barriers and facilitators and strategic behavioural analysis of interventions. Implementation Science, 15(1), 44. https://doi.org/10.1186/s13012-020-01001-2

6.Calpe-Damians, N., Wennberg-Capellades, L., Ventura-Rosado, A., Gonzalez-Engroba, R., Enríquez-Pérez, N., Vicario-Martos, C., Roldos-Gales, A., Guri-López, T., Rafart-Aguado, S., Ramírez-Ramon, A., & Llauradó-Serra, M. (2024). Effectiveness and safety of a simple catheter securement device aimed at preventing catheter-associated urinary tract infection in intensive care unit patients: A randomized controlled trial. Nursing in Critical Care, 29(6), 1788–1798. https://doi.org/10.1111/nicc.13111

7-Castellà, L., Casas, I., Giménez, M., Reina, D., Sopena, N., García-Quesada, M. J., & Clinical Working Group. (2024). Hygiene with wet wipes in bedridden patients to prevent catheter-associated urinary tract infection in cardiac surgery: A randomized controlled trial. Infection Control and Hospital Epidemiology, 45(2), 227–230. https://doi.org/10.1017/ice.2023.178

8.Centers for Disease Control and Prevention. (2019, June 6). Guideline for prevention of catheter-associated urinary tract infections (2009). U.S. Department of Health and Human Services.

9.Centers for Disease Control and Prevention. (2024). 2024 NHSN Urinary Tract Infection (UTI) Checklist [PDF].

10. Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Catheter-associated urinary tract infection (CAUTI): Background. https://www.cdc.gov/uti/hcp/clinical-safety/index.html

11.Children's Health Ireland. (2018, December). Urinary catheters: Urethral & supra-pubic catheters (CUCUS-12-2018-CHFQ-V1, Version 1) [Clinical guideline].

13.Duque-Sanchez, L., Qu, Y., Voelcker, N. H., & Thissen, H. (2023). Kateterle ilişkili idrar yolu enfeksiyonlarının yeni nesil antimikrobiyal teknolojilerle ele alınması. Journal of Biomedical Materials Research Part A.

14. European Association of Urology. (2024). EAU guidelines. EAU Guidelines Office. Retrieved December 23, 2025, from https://uroweb.org/guidelines

15. European Association of Urology Nurses. (2024). Urethral intermittent catheterisation in adults: Evidence-based guidelines for best practice in urological health care. Retrieved December 23, 2025, from https://www.coloplastprofessional.co.uk/globalassets/hcp/pdf-file/v2/uk/cc/competency-day-support-docs/eaun-guideline-urethral-intermittent-catheterisation-in-adults-2024.pdf

16. European Centre for Disease Prevention and Control. (2021). Healthcare-associated infections acquired in intensive care units – Annual epidemiological report for 2021. https://www.ecdc.europa.eu

17. European Centre for Disease Prevention and Control. (2023). Healthcare-associated infections acquired in intensive care units – Annual epidemiological report. https://www.ecdc.europa.eu

18. Fang, Y. Y., Mu, P. F., & Chow, L. H. (2024). Effect of early removal of urinary catheter on recovery after vaginal surgery: A systematic review and meta-analysis. Taiwanese Journal of Obstetrics & Gynecology, 63(4), 451–458. https://doi.org/10.1016/j.tjog.2024.05.005

19. Fasugba, O., Cheng, A. C., Gregory, V., Graves, N., Koerner, J., Collignon, P., Gardner, A., & Mitchell, B. G. (2019). Chlorhexidine for meatal cleaning in reducing catheter-associated urinary tract infections: a multicentre stepped-wedge randomised controlled trial. The Lancet Infectious Diseases, 19(6), 611–619. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30736-9

20. Giles, M., Graham, L., Ball, J., King, J., Watts, W., Harris, A., Oldmeadow, C., Ling, R., Paul, M., O'Brien, A., Parker, V., Wiggers, J., & Foureur, M. (2020). Implementation of a multifaceted nurse-led intervention to reduce indwelling urinary catheter use in four Australian hospitals: A pre- and postintervention study. Journal of Clinical Nursing, 29(5–6), 872–886. https://doi.org/10.1111/jocn.15142

21. Goodfellow, M., Thompson, E. R., Tingle, S. J., & Wilson, C. (2023). Early versus late removal of urinary catheter after kidney transplantation. Cochrane Database of Systematic Reviews, 7, CD013788. https://doi.org/10.1002/14651858.CD013788.pub2

22. Gupta, P., Thomas, M., Mathews, L., Zacharia, N., Ibrahim, A. F., Garcia, M. L., El Hassan, M. (2023). Reducing catheter-associated urinary tract infections in the cardiac intensive care unit with a coordinated strategy and nursing staff empowerment. BMJ Open Quality, 12(2), 1–7. https://doi.org/10.1136/bmjoq-2022-002214

23. Gyesi-Appiah, E., Brown, J., & Clifton, A. (2020). Short-term urinary catheters and their risks: an integrated systematic review. British Journal of Nursing (Mark Allen Publishing), 29(9), S16–S22. https://doi.org/10.12968/bjon.2020.29.9.S16

24. Hacıosmanoğlu, K. A., & Yazıcı, G. (2022). Yoğun Bakım Ünitelerinde Kateter İlişkili Üriner Sistem Enfeksiyonlarını Önlemeye Yönelik Kanıta Dayalı Uygulamalarda Hemşirelerin Önemi. TSAD, 3(2), 53–61.

25. Haza'a, A. A., Al-Jaradi, A., & Odhah, M. A. (2021). Knowledge of nurses toward prevention for catheter-associated urinary tract infection in public hospitals at Amran City, Yemen. Open Journal of Nursing, 11, 933–946. https://doi.org/10.4236/ojn.2021.1111076

26. Hekimoğlu, C. H., & Şahan, S. (2020). Üriner kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonlarında ölüm ile ilişkili faktörlerin incelenmesi. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 77(3), 325–332. https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2020.13549

27. Huang, K., Liang, J., Mo, T., Zhou, Y., & Ying, Y. (2018). Does periurethral cleaning with water prior to indwelling urinary catheterization increase the risk of urinary tract infections? A systematic review and meta-analysis. American Journal of Infection Control, 46(12), 1400–1405. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.02.031

28. Jones, L. F., Meyrick, J., Bath, J., Dunham, O., & McNulty, C. A. M. (2019). Effectiveness of behavioural interventions to reduce urinary tract infections and Escherichia coli bacteraemia for older adults across all care settings: a systematic review. The Journal of Hospital Infection, 102(2), 200–218. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2018.10.013

29. Karadağ Arlı, Ş., & Bakan, A. B. (2020). Kateter ilişkili üriner sistem enfeksiyonları kontrol önlemlerine yönelik hemşirelerin bilgi ve tutumlarının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi, 7(1), 1–7. https://doi.org/10.31125/hunhemsire.715021

30. Koca, R., & Gürkan, A. (2020). Katater İlişkili Üriner Sistem Enfeksiyonlarının Önlenmesinde Güncel Yaklaşımlar. Cerrahi Ameliyathane Sterilizasyon Enfeksiyon Kontrol Hemşireliği Dergisi, 1(2), 72–82.

31. Kowalski, P., Nowak, A., & Zielińska, M. (2025). Catheter-associated urinary tract infections in the intensive care unit in Wrocław, Poland: January 2020–June 2024. European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40275182

32. Kurt, M., & Yazıcı, G. (2021). Yoğun bakım ünitesinde sık görülen sağlık hizmetiyle ilişkili enfeksiyonların önlenmesinde kanıta dayalı uygulamalar. Türkiye Sağlık Araştırmaları Dergisi, 2(3), 26–44.

33. Lengetti, E., Kronk, R., Ulmer, K. W., Wilf, K., Murphy, D., Rosanelli, M., & Taylor, A. (2018). An innovative approach to educating nurses to clinical competence: A randomized controlled trial. Nurse Education in Practice, 33, 159–163. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2018.08.007

34. Li, F., Song, M., Xu, L., Deng, B., Zhu, S., & Li, X. (2019). Risk factors for catheter-associated urinary tract infection among hospitalized patients: A systematic review and meta-analysis of observational studies. Journal of Advanced Nursing, 75(3), 517–527. https://doi.org/10.1111/jan.13863

35. Liang, C. C., Huang, T. J., Yang, S. H., Su, J. Y., Mu, P. F., & Curia, M. (2019). Prevention of catheter-associated urinary tract infection in neurological post-operation patients: a best practice implementation project. JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports, 17(6), 1256–1267. https://doi.org/10.11124/JBISRIR-2017-003945

36. Liao, X., & Xie, L. (2021). A systematic review and meta-analysis of the timing of indwelling catheter extubation in patients undergoing gynecological and obstetric surgery. Annals of Palliative Medicine, 10(12), 12519–12528. https://doi.org/10.21037/apm-21-3290

37. Ma, S., Gu, J., & Fan, X. (2023). Need to clamp indwelling urinary catheters before removal after different durations: a systematic review and meta-analysis. BMJ Open, 13(2), e064075. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-064075

38. Mattevi, C., van Coppenolle, C., Selvy, M., Pereira, B., & İnce, K. (2022). İnfraperitoneal anastomozlu kolorektal cerrahi sonrası idrar kateterinin erken çıkarılmasının sistematik derlemesi ve meta-analizi. Langenbeck's Archives of Surgery, 407, 15–23.

39. McVey, C., von Wenckstern, T., Mills, C., Yager, L., McCauley, C., Rivera, Y., & Reed, E. (2022). Nurse-Sensitive Indicator Quality Improvement Toolkit: A Scalable

Solution to Improve Health Care-Associated Infections. Journal of Nursing Care Quality, 37(4), 295–299. https://doi.org/10.1097/NCQ.0000000000000634

40. MedlinePlus. (2024, May 17). Catheter-related urinary tract infection. National Library of Medicine.

41. Mitchell, B. G., Northcote, M., Cheng, A. C., Fasugba, O., Russo, P. L., & Rosebrock, H. (2019). Reducing urinary catheter use using an electronic reminder system in hospitalized patients: A randomized stepped-wedge trial. Infection Control and Hospital Epidemiology, 40(4), 427–431. https://doi.org/10.1017/ice.2019.31

42. Mitchell, B. G., Prael, G., Curryer, C., Russo, P. L., Fasugba, O., Lowthian, J., Cheng, A. C., Archibold, J., Robertson, M., & Kiernan, M. (2021). The frequency of urinary tract infections and the value of antiseptics in community-dwelling people who undertake intermittent urinary catheterization: A systematic review. American Journal of Infection Control, 49(8), 1058–1065. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.01.009

43. Mohapatra, J., Choudhury, S., Swain, R. R., & Dash, S. (2024). Catheter-Associated Urinary Tract Infections in Surgical Patients Undergoing Short-Term Catheterization at a Tertiary Care Hospital: A Retrospective Study. Annals of Medicine and Medical Sciences, 3, 96–99. https://doi.org/10.5281/zenodo.14843579

44. National Healthcare Safety Network (NHSN) patient safety component manual: Urinary tract infection (UTI) event. https://www.cdc.gov/nhsn/pdfs/pscmanual/pcsmanual_current.pdf

45. Niederhauser, A., Züllig, S., Marschall, J., & Schwappach, D. L.; (2018). Hemşirelerin ve Doktorların Kurumlarındaki Dahili İdrar Kateteri Uygulamaları ve Kültürüne İlişkin Algıları. Hasta Güvenliği Dergisi, 16, e82–e89.

46. Nollen, J. M., Pijnappel, L., Schoones, J. W., & Peul, W. C. (2022). Ameliyat sonrası erken dönemde yerleşik idrar kateterinin çıkarılmasının etkisi: Sistematik bir inceleme. Journal of Clinical Nursing.

47. Ouyang, M., Billot, L., Song, L., Wang, X., Roffe, C., Arima, H., Lavados, P. M., Hackett, M. L., Olavarría, V. V., Muñoz-Venturelli, P., Middleton, S., Pontes-Neto, O. M., Lee, T. H., Watkins, C. L., Robinson, T. G., & Anderson, C. S. (2021). Prognostic significance of early urinary catheterization after acute stroke: Secondary analyses of the international

HeadPoST trial. International Journal of Stroke, 16(2), 200–206. https://doi.org/10.1177/1747493020908140

48. Peng, L., Yuan, Y., & Wei, Y. (2018). Pathogenesis of catheter-associated urinary tract infections: The role of bacterial biofilms. Journal of Medical Microbiology, 67(7), 1023–1032. https://doi.org/10.1099/jmm.0.000767

49. Pişkin, E., & Erbaş, A. (2024). Cerrahi Birimlerde Çalışan Hemşirelerin Üriner Kateterizasyonunu Sonlandırmadan Önce Mesane Jimnastiği Yaptırma Durumları ve Bilgi Düzeyleri. SABD, 14(2), 274–280. https://doi.org/10.33631/sabd.1315281

50. Plando, R., Obaid, L., Al Baker, A. S., Khan, O., Solatorio, M., De Leon, B. J., Tabasin, V. M., & Obsioma, R. A. (2024). Prevention and Control of Catheter-Associated Urinary Tract Infection (CAUTI): A Patient Safety and Quality Improvement Project. Cureus, 16(10), e72105. https://doi.org/10.7759/cureus.72105

51. Quinn, M., Ameling, J. M., Forman, J., Krein, S. L., Manojlovich, M., Fowler, K. E., King, E. A., & Meddings, J. (2020). Klinik gözlemler ve görüşmelerden belirlenen zamanında kateter çıkarılmasına yönelik kalıcı engeller. The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety, 46(2), 99–108.

52. Ramezani, F., Khatiban, M., Rahimbashar, F., & Soltanian, A. R. (2018). Efficacy of bladder irrigation in preventing urinary tract infections associated with short-term catheterization in comatose patients: A randomized controlled clinical trial. American Journal of Infection Control, 46(10), e45–e50. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.05.009

53. Rosenthal, V. D., Guzman, S., Migone, O., Crnich, C. J., & Turkish IHI-ICU Group. (2020). Impact of a multidimensional infection control strategy on catheter-associated urinary tract infection rates in ICUs in Turkey. Journal of Infection and Public Health, 13(7), 1054–1060. https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.10.015

54. Sakamoto, F., Asano, K., Sakihama, T., Saint, S., Greene, M. T., Patel, P., Ratz, D., & Tokuda, Y. (2019). Changes in health care-associated infection prevention practices in Japan: Results from 2 national surveys. American Journal of Infection Control, 47(1), 65–68. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.06.015

55. Saint, S., Trautner, B. W., Fowler, K. E., Colozzi, J., Ratz, D., Lescinskas, E., Hollingsworth, J. M., & Krein, S. L. (2018). A multicenter study of patient-reported infectious

and noninfectious complications associated with indwelling urethral catheters. JAMA Internal Medicine, 178(8), 1078–1085. https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2018.2417

56. Sağlık hizmeti ilişkili enfeksiyonlar. https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/hastaliklar/shie.html

57. Shan, A., Hasnain, M., & Liu, P. (2023). Nursing Effect Analysis of Urinary Tract Infections in Urology Surgery Patients: a Systematic Review and Meta-analysis. The Indian Journal of Surgery, 85(2), 251–261. https://doi.org/10.1007/s12262-022-03438-9

58. Shuai, M., & Li, Y. (2021). Indwelling catheter increases the risk of urinary tract infection in total knee arthroplasty: A meta-analysis of randomized controlled trials. Medicine, 100(15), e25490. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000025490

59. Smith, D. R. M., Pouwels, K. B., Hopkins, S., Naylor, N. R., Smieszek, T., & Robotham, J. V. (2019). İngiliz NHS hastanelerinde idrar kateteriyle ilişkili enfeksiyonların epidemiyolojisi ve sağlık-ekonomik yükü: Olasılıksal bir modelleme çalışması. Journal of Hospital Infection, 103(1), 44–54. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2019.04.017

60. Sönmez, A., Öztürk, Ş. B., & Abacıgil, F. (2021, Nisan 29). Sağlık hizmeti ilişkili enfeksiyon epidemiyolojisi ve sürveyansı. Hemşirelik Bilimi Dergisi, 4(1), 41–45.

61. Su, L. (2025). Effectiveness of Nurse-Driven Protocols in Reducing Catheter-Associated Urinary Tract Infections: A Systematic Review and Meta-Analysis. Journal of Nursing Care Quality, 40(1), 39–45. https://doi.org/10.1097/NCQ.0000000000000811

62. Sykora, M., Ramsaran, A., Blankenship, S., & Hawrylak, A. (2025). Reducing CAUTI incidence: A multimodal and multidisciplinary approach for improved prevention and patient outcomes. American Journal of Infection Control. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2025.08.037

63. Tae, B. S., Oh, J. J., Jeong, B. C., & Ku, J. H. (2022). Investigative and Clinical Urology. Investigative and Clinical Urology, 63(?), 334–340. https://doi.org/10.4111/icu.20210436

64. Tripathee, S., Abdel-Fattah, M., Johnson, D., Constable, L., Cotton, S., Cooper, D., MacLennan, G., Evans, S., Young, A., Dimitropoulos, K., Hashim, H., Kilonzo, M., Larcombe, J. H., Little, P., Murchie, P., Myint, P. K., NDow, J., Paterson, C., Powell, K., Scotland, G., … Maclennan, S. J. (2025). Patient and healthcare professionals' perception of weekly prophylactic catheter washout in adults living with long-term catheters: qualitative

study of the CATHETER II trial. BMJ Open, 15(4), e087206. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-087206

65. Wang, L., Liu, Y., & Li, S. (2025). Effectiveness of cluster nursing intervention in preventing urinary catheter-related urinary tract infections. African Journal of Reproductive Health, 29(10), 83–89. https://doi.org/10.29063/ajrh2025/v29i10.8

66. World Health Organization. (2022). Global report on infection prevention and control. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240051164

CERRAHİ TAKIMDA PSİKOLOJİK GÜVENLİK: HATA BİLDİRİMİ

Duygu ALTUNOĞLU
Maltepe Üniversitesi / Cerrahi Hemşireliği
duygu-kesimoglu@hotmail.com - 0009-0000-4191-0885

Dr. Öğr. Üyesi Hatice ERDOĞAN
Maltepe Üniversitesi / Cerrahi Hemşireliği
haticeerdogan@maltepe.edu.tr - 0000-0001-6376-0267

ÖZET

Cerrahi takım, hastanın cerrahi girişim ve tedavi sürecinde yer alan kaliteli sağlık bakımını sunmak amacıyla bir araya gelen üyelerin bilgi ve deneyimlerini paylaştığı, ortak kararlar alan ve uygulayan multidisipliner bir yapıdır (Saadi, 2024). İletişimin yeterince önemsenmediği, sorumluluğun paylaşılmadığı, ortak karar alma ve alınan kararları sorgulayabilme becerilerinin geliştirilmediği; bilgi ve karar paylaşımının gerekli olmadığına inanılan takımlarda tıbbi hata oranlarının arttığı, hasta ve çalışan güvenliği ve memnuniyeti azalmaktadır (Saldamlı, A., 2019). Herkesin görüşlerini rahatlıkla ifade edebildiği bir çalışma ortamı, psikolojik olarak güvenli bir ortamdır. Psikolojik olarak güvende hissetmek, takım üyelerinin soru sorma, hataları dile getirme ve hata bildirimi gibi davranışları sergilemesini kolaylaştırır. Yüksek düzeyde psikolojik güvenlik, klinik bakımın sunumunu iyileştirmesinin yanı sıra cerrahi takım üyelerinin iş doyumunu ve refahını artırarak hasta güvenliği açısından önemli faydalar sağlamaktadır (Rosen et al., 2018). Psikolojik güvenliğin sağlanamadığı ortamlarda, takım üyeleri çevrelerindeki kişiler tarafından reddedilme korkusu nedeniyle gerekli bilgi paylaşımını ve fikir alışverişini sağlayamamaktadır. Sağlıklı çatışma; ekip üyelerinin zorbalığa uğramadan, aşağılanma korkusu yaşamadan düşüncelerini ifade edebildikleri; karşılıklı saygı ve güvene dayalı bir ortamda gerçekleşir. Böyle bir ortamın oluşturulabilmesi için açık iletişimin teşvik edilmesi, net beklentilerin belirlenmesi, yapıcı tartışmalar desteklenmelidir. Böylece takımda daha yüksek üretkenlik, katılım, inovasyon, yaratıcılık ve iş birliği sergilenebilir. Hataları ve başarısızlıkları dile getirebilmek ve sorunlara aşırı tepki vermemek, psikolojik güvenliğin temel bileşenlerindendir (Salas et al., 2015). Sonuç olarak, cerrahi takımda psikolojik güvenlik yalnızca “daha iyi bir ekip hissi” değil, doğrudan hasta güvenliği, bakım kalitesi ve organizasyonel öğrenme kapasitesi açısından stratejik bir hedeftir. Gelecekte, psikolojik güvenliğin ameliyathane özelinde nicel olarak ölçülmesi ve müdahalelerin etkinliğinin incelenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: cerrahi takım, psikolojik güvenlik, hata bildirimi

HASTANEDE YATAN 3-6 YAŞ GRUBU KRONİK HASTALIĞI OLAN ÇOCUKLARIN HASTANEDEKİ AKTİVİTELERİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

Cansever KAYA
Çukurova Üniversitesi,
Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Hemşirelik Anabilim Dalı
Adana, Türkiye.

Prof.Dr. Şenay ÇETİNKAYA
Çukurova Üniversitesi,
Sağlık Bilimleri Fakültesi
Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği ABD Başkanı
Adana, Türkiye.
scetinkaya@cu.edu.tr,
senayckaya@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9578-5610

ÖZET

Kronik hastalıklar, uzun süreli tedavi ve rehabilitasyon gerektiren, kalıcı etkiler bırakabilen durumlardır. Bu hastalıklarla yaşayan çocuklar, hastaneye yatış süreçlerinde psikososyal ve gelişimsel açıdan çeşitli zorluklar yaşamaktadır. Bu çalışma, Adana Balcalı Hastanesi'nde yatan 50 çocuk ve anneleriyle gerçekleştirilmiştir. Kesitsel araştırma tasarımı ile yürütülen çalışmada veriler, Ocak-Haziran 2024 tarihleri arasında anket ve çeşitli ölçeklerle toplanmıştır. Çocukların tercih ettikleri aktiviteler değerlendirilmiş, hastane yatışının bu tercihlere etkisi incelenmiştir. Kullanılan ölçme araçları arasında Denver II Gelişimsel Tarama Testi, Psikososyal Durum Değerlendirme Ölçeği ve Fiziksel Aktivite Kısıtlayıcıları Ölçeği yer almıştır. Annelerin %66'sı, babaların ise %42'si ilköğretim ve altı eğitim düzeyine sahiptir. Hastanede çocukların %96'sı dijital materyalleri tercih ederken, evde dijital materyallerin tercih oranı %98, sportif aktivitelerin oranı ise %90'dır. Hastane ortamında fiziksel aktivitelerin yokluğu dikkat çekmektedir. Ölçek sonuçları, çocukların gelişim alanları arasında pozitif ilişkiler olduğunu göstermektedir. Çalışma, hastanede gelişimi destekleyici aktivitelerin planlanmasının önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kronik hastalık, hastane yatışı, çocuk sağlığı, boş zaman aktiviteleri, hemşire.

EXAMINATION OF THE ACTIVITIES AND AFFECTING FACTORS OF HOSPITALIZED CHILDREN AGED 3-6 WITH CHRONIC DISEASES

Abstract

Chronic diseases are conditions that require long-term treatment and rehabilitation and can leave lasting effects. Children living with these diseases experience various psychosocial and developmental challenges during hospitalization. This study was conducted with 50 children and their mothers hospitalized at Adana Balcalı Hospital. The study, designed as a cross-sectional research, collected data between January and June 2024 through surveys and various assessment tools. Children's preferred activities were evaluated in relation to variables such as age, gender, parental education, and social security status, and the impact of hospitalization on these preferences was examined. The assessment tools used included the Denver II Developmental Screening Test, the Psychosocial Status Assessment Scale, and the Physical Activity Barriers Scale. It was found that 66% of the mothers and 42% of the fathers had an educational level of primary school or below. While 96% of children preferred digital materials during hospitalization, at home, the rate of preference for digital materials was 98%, and 90% for sports activities. The absence of physical activities in the hospital environment is noteworthy. The scale results showed positive relationships between children’s developmental domains. The study highlights the importance of planning activities that support development during hospital stays.

Keywords: Chronic disease, hospitalization, child health, leisure activities, nurse

1. GİRİŞ

Çocukluğun ilk aşamaları fiziksel, bilişsel, sosyal ve duygusal gelişimdeki hızlı ilerlemelerle karakterize edilir. Bu aşamadaki çocuklar yeni yetenekler kazanır, keşiflerle meşgul olur ve kişilerarası bağlantılarını geliştirir. Ne yazık ki, kronik hastalıkları olan çocuklar için bu gelişimsel yolculuk, hastalığın varlığı ve sonrasında uygulanan tedavi nedeniyle bozulabilir ve bu da çocukların genel büyümeleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Kronik hastalıklar çoğu zaman uzun süreli hastanede kalış süresini ve günlük aktivitelerde kısıtlamayı gerektirmektedir (1,2).

Hastaneye yatırılan 3 ila 6 yaş arasındaki çocuklar, hastane ortamında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklar, yabancılarla alışılmadık etkileşimleri, acı verici tıbbi prosedürleri ve günlük rutinlerin aksamasını içermektedir (3). Hastane ortamı çocuklar

tarafından genellikle korkutucu, monoton ve sınırlayıcı olarak algılanır. Sonuç olarak bu algı, çocukların hastanede kaldıkları süre boyunca stres ve kaygı düzeylerini artırabilmektedir (4). Daha sorunsuz ve konforlu bir hastane deneyimi sağlamak için çocukların çeşitli aktivite ve oyunlara katılması çok önemlidir. Ne yazık ki, hastane ortamında bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesini engelleyebilecek çeşitli faktörler vardır. Hastanede yatan çocukların tercihleri; ailenin alışkanlıkları, teknolojik cihazların varlığı, hastane ortamının getirdiği kısıtlamalar ve sağlık çalışanlarının tutumlarından etkilenebilmektedir (5,6).

Kronik hastalıkları olan çocuklarda, bu hastalıkların sürekli tedavi ve bakım gerektirmesi nedeniyle yaşam kalitelerinde azalma ve günlük aktivitelerinde kısıtlamalar yaşanmaktadır. Kronik hastalıkların çocuklar üzerindeki etkisi, hastalığın türüne, tedavi rejimine, çocuğun yaşına, aileden aldığı destek düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Kronik hastalığı olan çocukların sık sık hastaneye yatmaları, uzun süreli tedavi görmeleri ve rutinlerinden sapmaları nadir görülen bir durum değildir (2,7).

Çocukları hastanedeyken aktivitelere ve oyunlara dahil etmek, deneyimlerini büyük ölçüde geliştirebilir ve stresin azalmasına yardımcı olabilir. Bu oyun ve aktiviteler çocuklarda fiziksel, bilişsel ve sosyal gelişimin yanı sıra hastane ortamının olumsuz etkilerini de ortadan kaldırmaktadır (6,8). Hastanede yatan çocukların aktivite tercihleri bir dizi faktörden etkilenebilir. Bu faktörler arasında ailelerin alışkanlıkları, çocukların teknoloji kullanımı, hastane ortamının getirdiği kısıtlamalar ve sağlık çalışanlarının tutumları yer almaktadır. Örneğin ailelerin teknolojiye olan ilgi düzeyi ve çocuklarına verdikleri rehberlik, çocukların hastanede kaldıkları süre boyunca teknolojiyle etkileşimlerini etkileyebilir. Ayrıca hastane ortamının fiziki koşulları ve sağlık çalışanlarının tutumları da çocukların hastanede katılabilecekleri etkinliklere sınırlamalar getirebilmektedir (5,6).

2. Hastanede Yatan Çocuk İçin Oyunun Önemi

Oyun, hastaneye yatırılan çocuklar için gelişimsel gereksinimlerini karşıladığı ve duygusal teselli sağladığı için büyük önem taşıyor. Çocuklar oyunların kullanımı sayesinde duygusal sağlıkları için destek bulabilir ve duygularını ifade edebilecekleri bir çıkış yolu bulabilirler (9,10). Oyuna katılmak çocuğun zihinsel ve ruhsal dinginliğine katkıda bulunur, onda bir sakinlik duygusunun oluşmasını sağlar. Hastane ortamındaki fiziksel aktivitenin sınırlamaları göz önüne alındığında, oyun enerji dengesinin korunmasında hayati önem taşıyor. Ayrıca oyun oynamak, hastane ortamından kaynaklanan stresin azalmasına yardımcı olarak çocuğun tedavi

sürecine olumlu bakış açısını artırır. Hastane ortamında oyun oynamak çocuğa güvenlik duygusu sağlar (11,12).

Oyunların kullanımı hastane ortamına giriş niteliğinde ve tedavi prosedürlerinin anlatılmasına yardımcı olabilir (6). Oyun yoluyla çocuklara kendilerini ifade etme olanağı sağlanır ve sonuçta hastane ortamında çocukla iletişim artar (13). Onkolojik durumlar gibi uzun süre hastanede kalmayı ve tedaviyi gerektiren hastalıklar çoğu zaman çocuğun günlük yaşamını bozar. Ancak oyunun bu zorlukları hafiflettiği gösterilmiştir (14,15). Okul öncesi çağdaki çocukların düşüncelerini ve duygularını etkili bir şekilde ifade etmekte zorlanabilecekleri göz önüne alındığında, oyunlar değerli bir iletişim aracı olarak hizmet edebilir (16). Oyun, çocuğa fayda sağlamanın yanı sıra etkili iletişimi kolaylaştırarak sağlık çalışanlarını da olumlu yönde etkilemektedir (17). Çocuğun sağlıklı gelişiminde oyunun önemi kabul edilerek, uygun büyümenin sağlanması için oyun ihtiyaçlarının karşılanması büyük önem taşımaktadır (18).

Üç ile altı yaş arası çocuklar oyuncak bebek evleri, plastik bloklar, kil, kum gibi çeşitli yaratıcı malzemelerle vakit geçirmekten büyük keyif alırlar. Bu aktiviteler onların hayal gücü için katalizör görevi görür ve yaratıcı düşünme yeteneklerinin geliştirilmesine yardımcı olur. Okul öncesi çağdaki çocuklarla oyun temelli etkinliklere katılmanız şiddetle tavsiye edilir. Örneğin, bir çocuğun belirli bir işlem veya tedaviyi tanıması gerektiğinde, büyük resimli kitapların kullanılması, çocuğun korku veya kaygı duygularını etkili bir şekilde giderebilir ve aynı zamanda işlem hakkında bilgilendirici içerik de sağlayabilir (19). Özellikle fiziksel aktivitelerin çocukların vücut sistemlerinin genel işleyişi üzerinde önemli bir etkisi vardır (20). Fiziksel olarak aktif oyunlara katılmak vücut yağının azaltılmasına, kasların güçlendirilmesine ve hormonal bezlerin aktive edilmesine yardımcı olur. Bu etkinlikler çocukların sağlıklı gelişimlerine katkı sağlamaktadır (21). Çocuğa sunulan her oyuncak ve oyun fırsatı onun gelişiminde önemli rol oynar. Çocuklar oyun yoluyla edindikleri becerileri uygulama şansına sahip olurlar. Bu fırsatları sağlayarak çocukların oyun deneyimlerinden elde edebilecekleri faydayı arttırıyoruz (22). Çocuğun oyun aktivitelerine katılımını kolaylaştırmak için hastane ortamında steril bir ortam oluşturmak çok önemlidir (23,24). Genel gelişimi destekleyen eğlenceli etkinlikleri kapsayan oyun, çocuk için öğrenme ve büyüme platformu görevi görmektedir (25). Günümüzde pek çok sağlık tesisi, pediatri kliniklerinde çocuklara özel oyun alanları ve oyun odaları sağlamanın öneminin farkına varmıştır. Bu alanların sunulmasıyla çocuklara hastane ortamında güvenli bir ortam ve oyun oynama olanağı sağlanarak, kendilerini

rahat hissetmeleri ve enerjilerini harcamaları sağlanmaktadır. Sonuç olarak bu, çocuklarda stres düzeyini azaltır ve daha olumlu bir tedavi deneyimini teşvik eder (26).

3. Hastanede Yatan 3-6 Yaş Çocuklarda Hemşirelerin Rolü

Geniş bir perspektiften bakıldığında hemşirelerin kronik hastalıklar nedeniyle hastaneye yatırılan 3-6 yaş arası çocukların bakımında ne kadar önemli katkılar sağladığını anlamak büyük *önem taşıyor. Hemşireler bu çocuk* hastaların hastanede kaldıkları süre boyunca fiziksel, duygusal, sosyal ve bilişsel gelişimlerinin desteklenmesinde hayati bir rol oynamaktadır.

Mevcut literatür incelendiğinde kronik hastalığı olan 3-6 yaş arası çocukların hastanede yatmaları ve aktivite seçimlerini etkileyen faktörlere ilişkin araştırmaların eksikliği ortaya çıkmaktadır (9). Bu çalışma kronik hastalıklar nedeniyle hastaneye yatırılan 3-6 yaş arası çocukların yaptıkları aktiviteleri ve bu aktiviteleri etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla yapılmıştır.

4. Araştırma Amacı

Bu çalışmanın amacı, kronik hastalıkları nedeniyle hastaneye başvuran 3-6 yaş arası çocukların gerçekleştirdiği eylemleri ve bu eylemleri etkileyen değişkenleri araştırmak ve hastanedeki çocukların günlük yaşam görevlerine ne ölçüde katılabildikleri ve katılım kapasitelerini etkileyen faktörler belirlenmeye çalışılmaktadır.

4.1. Araştırmanın Değişkenleri

Araştırmanın Bağımlı Değişkenleri;

- Çocukların hastanedeki aktivite tercihleri

Araştırmanın Bağımsız Değişkenleri;

-Hastane ortamı
-Kronik hastalık türü
-Annelerin Fiziksel Aktivite Kısıtlayıcıları
-Sağlık çalışanlarının tutumları
-Anne babanın eğitim durumudur.

5. GEREÇ VE YÖNTEM

Araştırma kesitsel bir klinik araştırma *olarak* Ç.Ü. Adana Balcalı Hastanesinde 3-6 yaş grubu kronik hastalığı olan hastanede yatan çocuklar ile yapıldı. Araştırmanın evrenini 2024 yılında

Adana Balcalı Hastanesi çocuk servislerinde yatan 3-6 yaş grubu kronik hastalığı olan çocuklar oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemini ise 2024 yılı Ocak-Haziran ayları arasında Adana Balcalı Hastanesi çocuk servislerine yatan 3-6 yaş grubu kronik hastalığı olan çocuklar oluşturmaktadır. Araştırmada örneklem seçimine gidilmeyip çalışmaya katılmayı kabul eden araştırmaya katılma kriterlerine uyan aile ve çocukları araştırma kapsamına dahil edildi. Çalışma için gereken Etik Kurul ve hastaneden resmi izinler alındıktan sonra belirlenen servislere gidildi. Servis sorumlu hemşirelerine gereken bilgiler verildi. Ailelere çalışma hakkında bilgilendirme yapılarak; aydınlatılmış onam formuyla veri toplama formları yüz yüze uygulandı.

Araştırma 2024 yılı Ocak-Haziran ayları arasında yapıldı. G*Power 3.0.10 programı kullanılan yapılan güç analizi sonucunda; %90 güç, %5 hata payı ile toplamda en az 44 örnek sayısı yeterli bulunmuştur (N: 44). Araştırma 50 çocuk ve ailesiyle yapıldı.

5.1. Araştırmaya Dahil Edime Kriterleri

Ebeveyni araştırmayı kabul eden, 3-6 yaş grubunda olan ve kronik hastalığı olan çocuklar araştırmaya dahil edildi.

5.2. Araştırmanın Dışında Bırakılma Kriterleri

Ebeveyni araştırmaya katılmayı kabul etmeyen çocuklar, 3-6 yaş grubu olmayan çocuklar, kronik hastalığı olmayan çocuklar. Araştırmaya dahil edilme kriterlerine uyan çocuk ve ailelerden araştırmaya katılmayı kabul etmeyen olmadı.

5.3. Veri Toplama Araçları

5.3.1. 3-6 Yaş Grubu Kronik Hastalığı Olan Çocukların Aktivitelerinin Belirlenmesi Anket Formu

Veriler toplanırken araştırmacılar tarafından hazırlanan 60 soruluk anket formu da aileye çalışmanın özellikleri ve beklenen sonuçlar hakkında açıklama yapıldıktan sonra ebeveynin katılımıyla uygulandı. Ayrıca hastane ortamında gözlem yapma yöntemi kullanılarak çalışma bulguları desteklendi. Araştırmacılar tarafından hazırlanan bu anket formu ile çalışmaya katılan çocukların günlük hayatlarında tercih ettiği aktiviteler, sosyal çevreleri, aile içerisinde aktivitelerini gerçekleştirmeye yönelik tutumlar gibi konular sorgulanarak mevcut rutinleri belirlendi. Anketin devamındaki hastane ortamında ailesinin tutumları, çevre, ortam koşulları gibi sorularla da çocuğun hastane ortamındaki aktivite tercihleri ve düzeni incelendi. Böylece bu sorulardan elde edilen sonuçlarla çocuğun aktivite tercihlerini etkileyen faktörler incelenebildi.

5.3.2. 3-6 Yaş Grubu Çocuklarda Psikososyal Durum Değerlendirme Ölçeği

3-6 yaş grubu okul öncesi çocukların psikososyal yönden değerlendirilmesi ölçeği Ebeveyn formu 2018 yılında Naime Altay ve Emine Güneş Şan tarafından 3-6 yaş grubu çocuğu olan 254 ebeveyn ile geçerlilik güvenirlilik çalışması gerçekleştirilerek çalışma sonucunda ölçeğin 3-6 yaş grubu çocuklarda psikososyal durum değerlendirmesinde kullanıma uygun olduğu bulundu (27). Dolayısıyla çalışmamızda çocuğun ebeveyninden veri toplama aracı olarak bu ölçek kullanıldı. Ölçek 31 maddeden oluşmakla birlikte 5'li likert tipte bir ölçektir. Bu ölçeğin çalışmamızda kullanılmış olması çocukların psikososyal durumlarını değerlendirmek çocuğun gereksinimlerini bilmek ve çocuklara bu gereksinimleri doğrultusunda müdahale edebilmek açısından önemlidir. Psikososyal sorunların erken tanımlanması zamanında müdahale etmeyi sağlar. Hastaneye yatmasıyla çocuğun rutinleri değişir ve çocukta bir takım davranış değişiklikleri meydana gelir. 3-6 yaş psikososyal durum değerlendirme ölçeği ile çocukların hastaneye yatışlarıyla birlikte içinde bulundukları psikososyal değişim ve sorunların çocuğun tercih ettiği aktiviteler üzerine etkileri incelendi (27).

5.3.3. Denver 2 Gelişimsel Tarama Testi

Denver 2 Gelişimsel Tarama Testi 1996 yılında Banu Anlar ve Kalbiye Yalaz tarafından geliştirilmiştir. 0-6 yaş arasındaki sağlıklı görünümdeki çocukların yaşına uygun olan becerileri değerlendirerek, çocuğun genel gelişimi konusunda bilgi vermek için dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kişisel-sosyal, ince motor-uyumsal, dil ve kaba motor alanlarını değerlendirmek üzere 4 bölüm ve 134 maddeden oluşmaktadır. Test uygulanacak olan çocuğun yaşı, yıl, ay, gün olacak şekilde hesaplanır ve yaş çizgisi çizilir. Test uygulanır ve maddeler geçer, kalır, olanak dışı ve reddetme şeklinde değerlendirilir. Maddelerin yorumlanması ise ileri, normal, uyarı, gecikme ve olanak dışı maddesi şeklinde puanlanarak yapılır. Çocuk, yaşıtlarının %90'ının geçer aldığı bir maddeden başarısız olur ve kalır alır ise, çocuk için o madde gecikme maddesi sayılır. Yaşıtlarının %75-90'ının geçer aldığı bir maddeden kalır ise, o madde uyarı maddesi olur. Test sonucuna karar verilirken, uyarı ve gecikme maddeleri göz önüne alınır. Uyarı ve gecikme maddelerinin sayısına göre test sonucu normal, şüpheli ya da anormal olmaktadır (28).

Denver Gelişimsel Tarama Testinin çalışmada kullanımı ile amaçlanan çocuğun gelişim evreleri ve içinde bulunduğu gelişim özellikleri açısından aileyi bilgilendirmektir. Bu test ile çocuğun yaşı ve içinde bulunduğu gelişim dönemine göre kişisel sosyal becerileri, ince motor, dil ve kaba motor becerileri ölçülecektir. Çocukların puanlarında düşüklük olması gelişim açısından geride olduğunu gösterdiğinden bu durum üzerinde etkisi olabilecek günlük aktivite tercihlerine etkisi

üzerinde duruldu. Denver Gelişimsel Tarama Testi uygulanırken çocukların gelişimlerini ait davranışlarıda gözlemlendi.

5.3.4. Serbest Zaman Fiziksel Aktivite Kısıtlayıcıları Ölçeği

Ölçek Kubilay Öcal tarafından geliştirilmiş bir ölçektir. Ölçek 38 maddeden oluşmakta ve 5'li likert tipte bir ölçektir. Ölçeğin geliştirilmesindeki amaç fiziksel aktivite kısıtlayıcılarının ortaya çıkarılmasını sağlamaktır (28). Bu ölçek serbest zamanda fiziksel aktivitelerin kısıtlanmasına neden olan faktörlerin incelenmesi amacıyla kullanıldı. Çalışmaya dahil edilen çocukların annelerinin normal hayatlarında fiziksel aktivite yapanların bu ölçek ile fiziksel aktivitelerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi amaçlandı.

5.4. Verilerin İstatistiksel Analizi

Araştırmada elde edilen veriler SPSS (Statistical Package for Social Sciences) for Windows 22.0 programı kullanılarak analiz edildi. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel yöntemleri olarak sayı, yüzde, ortalama, standart sapma kullanıldı. Araştırmanın sürekli değişkenleri arasında pearson korelasyon analizi uygulandı.

5.5. Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırma sadece bir hastanenin 3-6 yaş grubu kronik hastalığı olan çocuk ve aileleriyle yürütülmesi araştırmanın sınırlılığını oluşturmaktadır. Bu nedenle sonuçlarda genelleme yapılamaz.

5.6. Araştırmanın Etik Yönü

Araştırma verileri 03/11/2023 tarihli Karar No: 37 olan Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel olmayan *klinik etik kurul onayı* ve Ocak-Haziran 2024 tarihli araştırmanın yapıl*acağı kurumdan yazılı izin* alındıktan sonra gönüllülük esas alınarak toplandı. Araştırmanın verileri için gereken Etik Kurul ve hastaneden resmi izinler alındıktan sonra belirlenen servislere gidildi ve servis sorumlu hemşirelerine gereken bilgiler verildikten sonra aydınlatılmış onam formuyla veri toplama formları ailelere çalışma hakkında bilgilendirme yapılarak katılmak isteyenlere verildi. Anket uygulamaları hastanede yüz yüze yapıldı.

6. Bulgular

Çizelge 1'e göre, çalışmaya katılan çocukların yaş dağılımında en büyük grubu 6 yaş (%38), ve erkek (%52) cinsiyet oluşturmaktadır. Çocukların %20'si okula gitmektedir. Servislerde yatış durumlarına bakıldığında, en fazla çocuk %32 ile Genel Çocuk Servisi'nde yatmaktadır. Bunu

sırasıyla %16 ile Metabolik Hastalıklar Servisi, %14 ile Çocuk Onkoloji ve Çocuk Nefroloji Servisleri izlemektedir. Kronik hastalık dağılımında ise en yüksek oran %20 ile nörolojik hastalık olup, bunu %16 ile metabolik hastalık ve %14 ile onkolojik ve nefrolojik hastalıklar takip etmektedir (Çizelge 1).

Annelerin eğitim durumu dağılımında %66'sının ilköğretim ve altı eğitim seviyesine sahip olduğu, %20'sinin ortaöğretim ve %14'sının üniversite mezunu olduğu görülmektedir. Annelerin %92'si ev hanımı olarak çalışmaktadır. Annelere kıyasla babaların eğitim seviyeleri biraz daha yüksektir. Ailelerin %80'i sosyal güvenceye sahipken, %20'si sosyal güvenceden yoksundur. (Çizelge 1).

Çocukların "çocuğun yaşı" ortalaması 5.000±0.969 (Min=3; Maks=6), "annenin yaşı" ortalaması 33.980±6.153 (Min=20; Maks=45), "babanın yaşı" ortalaması 37.520±5.950 (Min=24; Maks=51) olarak saptanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 2'ye göre, çocukların %96'sı dijital oyunları tercih etmektedir. Bunu %50 ile eğitici materyaller, %38 ile bebekler ve %22 ile arabalar takip etmektedir. Çocukların yalnızca %2'si kutu oyunları ve müzik aletlerine ilgi göstermektedir. Hastanede koleksiyon yapma durumuna bakıldığında, çocukların %90'ı koleksiyon yapmazken, yalnızca %10'u bu aktiviteyi yapmaktadır.

Hastanede anneleriyle birlikte aktivite yapma durumu değerlendirildiğinde, çocukların %72'si hastanede birileriyle birlikte aktivite yapma fırsatı bulurken, %28'i bu imkana sahip değildir. Birlikte yapılan aktivitelerde en yaygın olanı %52.8 ile sohbet, %36.1 ile dijital oyunlar ve %19.4 ile eğitsel oyunlardır (Çizelge 2).

Çizelge 3 verilere göre, çocukların %82'sinin evde oyun alanı bulunmaktadır. Çocukların evde boş zamanlarında en çok tercih ettiği aktiviteler arasında %94 ile dijital oyunlar, %90 ile eğitsel oyunlar ve %88 ile nesne oyunları öne çıkmaktadır. Ayrıca çocukların %84'ü fiziksel oyunları, %84'ü ise parkta oyun oynamayı tercih etmektedir. Çocukların %98'i arkadaşlarıyla, %94'ü ise akrabalarıyla görüşme fırsatına sahiptir. Oyun oynarken en çok kullanılan materyaller %98 ile dijital materyaller ve %92 ile eğitici materyaller olup, sportif materyaller de %90 oranında tercih edilmektedir.

Evde eğitici oyun oynayan çocukların oranı %90 iken, en çok oynanan eğitici oyunlar %77.8 ile boyama ve %73.3 ile lego olarak belirlenmiştir. Çocukların %20'si evde koleksiyon yapmaktadır. Hastane dışında akranlarıyla zaman geçiren çocukların %82'si fiziksel oyunları tercih ederken, %54'ü nesne oyunlarını tercih etmektedir (Çizelge 3).

Çocukların "günlük hayatta oyuna ayrılan saat" ortalaması 5.180±2.283 (Min=1; Maks=9), "evde birlikte zaman geçirme saati" ortalaması çok yüksek 4.600±2.556 (Min=1; Maks=8), "evde oyun alanında zaman geçirme süresi" ortalaması 2.800±1.662 (Min=1; Maks=8), "annenin günlük telefon kullanma süresi" ortalaması 2.380±1.455 (Min=1; Maks=8), "babanın günlük telefon kullanma süresi" ortalaması 2.940±1.994 (Min=1; Maks=8), "çocuğun günlük telefon kullanma süresi" ortalaması 3.040±2.555 (Min=0; Maks=10) olarak saptanmıştır (Çizelge 3).

Denver Gelişim Testi puan ortalamaları incelendiğinde en yüksek ortalama 2.020±0.892 ile kişisel sosyal gelişim alanında elde edilmiştir. Bunu 1.860±0.857 ortalama ile dil gelişimi takip etmektedir. Kaba motor gelişimi alanında ortalama puan 1.480±0.762 iken, en düşük ortalama 1.400±0.756 ile ince motor gelişimi alanında gözlemlenmiştir. Tüm gelişim alanlarında puanlar 1.000 ile 3,000 arasında değişmektedir. Bu veriler, kişisel sosyal gelişimin diğer alanlara göre daha yüksek bir ortalama sergilediğini göstermektedir (Çizelge 4).

Araştırmaya katılan bireylerin hastalık gruplarına göre dağılımı incelendiğinde, en yüksek oranın %38 (n=19) ile 3. Grupta (genel çocuk hastaları) yer alan bireylerden oluştuğu görülmektedir. Bunu %36 ile 1. Grup (n=18) (metabolik, endokrin ve nefroloji hastaları) ve %26 ile 2. Grup (n=13) (hematoloji, onkoloji hastaları) takip etmektedir. Bu sonuç, çalışmada yer alan bireylerin önemli bir kısmının 3. Grup hastalık kategorisinde yer aldığını göstermektedir (Çizelge 5).

Denver Gelişim Testi sonuçları incelendiğinde çocukların %56'sının genel gelişim durumunun "anormal" olduğu görülmektedir. Çocukların %28'i "şüpheli" bir gelişim durumuna sahipken, yalnızca %16'sı "normal" gelişim göstermektedir. Bu dağılım, değerlendirmeye alınan çocukların büyük bir kısmında gelişimsel sorunlar olabileceğine işaret etmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 7'deki korelasyon analizi sonuçlarına göre, dil gelişimi ile psikososyal durum toplam puanı arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($r = 0.445$, $p < 0.01$). Dil gelişimi

ayrıca ince motor gelişimi ($r = 0.435$, $p < 0.01$), fiziksel algı ($r = 0.556$, $p < 0.01$), yetenek algısı ($r = 0.455$, $p < 0.01$), ve irade ($r = 0.348$, $p < 0.05$) ile de anlamlı bir ilişki göstermektedir. Kişisel sosyal gelişim, fiziksel algı ($r = 0.463$, $p < 0.01$) ve yetenek algısı ($r = 0.454$, $p < 0.01$) ile pozitif bir korelasyona sahiptir.

Psikososyal durum toplam puanı, serbest zaman fiziksel aktivite kısıtlayıcıları genel puanı ($r = 0.451$, $p < 0.01$), fiziksel algı ($r = 0.595$, $p < 0.01$), yetenek algısı ($r = 0.556$, $p < 0.01$), tesis ($r = 0.420$, $p < 0.01$) ve irade ($r = 0.473$, $p < 0.01$) ile anlamlı pozitif ilişkiler göstermektedir. Bu durum, çocukların psikososyal durumu ile fiziksel aktivite kısıtlayıcıları arasındaki ilişkilerin güçlü olduğunu işaret etmektedir (Çizelge 7).

Serbest zaman fiziksel aktivite genel puanı, zaman ($r = 0.663$, $p<0.01$), aile ($r = 0.772$, $p<0.01$), sosyal çevre ($r = 0.755$, $p<0.01$), tesis ($r = 0.825$, $p<0.01$) ve irade ($r = 0.809$, $p<0.01$) alt boyutlarıyla yüksek derecede anlamlı ilişki göstermektedir. Bu ilişkiler, annelerin fiziksel aktivite kısıtlamalarının çeşitli çevresel ve bireysel faktörlerden etkilendiğini göstermektedir (Çizelge 7).

Sonuç olarak, annelerin fiziksel aktiviteye katılım kısıtlayıcıları ile çocukların psikososyal durum, dil gelişimi ve motor gelişim gibi birçok değişken arasında anlamlı ilişkiler bulunmaktadır.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Araştırmamızın bulguları, çocukların hastaneye yatış süreçlerinde sosyal destek ihtiyacı, oyun olanakları ve terapötik oyunların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. Araştırmamızda; evde eğitici oyun oynayan çocukların oranı %90 iken hastanede bu oran %52'ye inmektedir. Hastane ortamının çocukların duygusal, sosyal ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde düzenlenmesi, onların bu zorlu süreci daha kolay atlatmalarını sağlamak adına kritik bir öneme sahiptir. Literatürde yer alan araştırmalarla uyumlu olarak, hastanede oyun odalarının bulunmasının çocukların psikolojik sağlığı üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, çocuk sağlığı hemşirelerinin çocukların duygusal ihtiyaçlarını karşılamada oyun ve sosyal destek yöntemlerini etkin bir şekilde kullanmaları, çocukların hastane sürecinde kendilerini daha iyi hissetmelerine katkı sağlayabilir.

Çocuk sağlığı hemşirelerinin oyun odaları, sosyal destek imkanları ve terapötik oyunları, çocukların bireysel ihtiyaçlarına uygun şekilde uyarlayarak kullanması, çocukların hastane deneyimlerini daha pozitif ve sağlıklı hale getirebilir. Bu tür uygulamalar, yalnızca çocukların hastane sürecindeki refahını artırmakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadede hastane korkusu ve anksiyetesini azaltmada etkili olabilir.

Çalışmanın bulgularına dayalı olarak bazı öneriler geliştirildi. İlk olarak, hastanelerdeki oyun alanlarının çocukların fiziksel, eğitici ve sosyal becerilerini geliştirebilecek çeşitli oyun materyalleri ile donatılması önerilmektedir. Bu alanlar, çocukların motor becerilerini desteklemek ve sosyal etkileşimlerini artırmak amacıyla uygun şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca, çocukların hastane ortamına uyumunu kolaylaştırmak ve kaygı düzeylerini azaltmak için terapötik oyun etkinlikleri ile psikososyal destek programlarının uygulanması yararlı olacaktır.

Ailelerin, çocuklarının psikososyal ihtiyaçlarını daha iyi anlamalarını sağlamak için eğitim programları düzenlenmelidir. Bu programlar, aile içi iletişimi güçlendirmeyi, oyun etkinliklerini teşvik etmeyi ve sağlıklı ebeveyn-çocuk etkileşimlerini desteklemeyi amaçlamalıdır. Bunun yanı sıra, hastane ortamında çocukların fiziksel aktivitelere katılımını artıracak güvenli ve uygun oyun alanlarının oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

Ailelerin, fiziksel aktivitenin çocukların genel gelişimi üzerindeki olumlu etkileri konusunda bilgilendirilmesi, çocukların günlük yaşamlarında fiziksel aktiviteye daha fazla yer vermelerini teşvik edebilir. Ek olarak, hastane sürecinde çocukların gelişimlerinin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. Motor ve sosyal beceriler açısından yapılacak düzenli gelişim takipleri, gelişim geriliği belirtileri gösteren çocuklar için erken müdahale planlarının hazırlanmasına olanak sağlayacaktır.

Amerikan Pediatri Akademisi (AAP) okul öncesi yaş dönemindeki çocuklar için dijital meteryal kullanımında sağlıklı sınırın günde 1 saat olması gerektiğini belirtmektedir (29). Dijital oyunların hastane ortamındaki çocuklar için birçok olumlu etkisi olsa da kullanım sürelerinin dengeli tutulması ve içeriklerinin yaşa uygun şekilde düzenlenmesi büyük önem taşımaktadır. Ebeveynler ve sağlık profesyonelleri, dijital oyunların sağladığı avantajları en iyi şekilde değerlendirebilmek için çocukların oyun sürelerini denetleyerek ve eğitici içeriklere yönlendirerek bilinçli bir yaklaşım benimsemelidir. Hastanelerde çocuklar için dijital oyun alanlarının düzenlenmesi ve bu oyunların hastane içindeki psikososyal destek programlarına

entegre edilmesi, çocukların hastane deneyimlerini daha olumlu hale getirebilir. Sonuç olarak çalışmamızda yüksek oranda hem ev aktivitesi hem hastane aktivitesi olarak dijital meteryallerin tercih edildiği göz önüne alındığında aileye bilinçli kullanım farkındalığı ve teknolojik cihaz kullanımının çocuklara olumsuz etkileri hakkında eğitim düzenlenmesi önerilebilir. Bu öneriler, kronik hastalığı olan çocukların hastane sürecinde hem psikososyal hem de fiziksel gelişimlerini destekleyerek daha sağlıklı bir iyilik hali sağlamalarına katkıda bulunabilir.

KAYNAKÇA

1. Er N. Kronik hastalığı olan çocuklarda psikososyal gelişim. *Turk Pediatri Derg*. 2006;49(2):123-131.
2. Fazlıoğlu K, Hocaoğlu Ç, Sönmez F. Çocukluk çağı epilepsisinin aileye etkisi. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*. 2010;2(2):190-205.
3. Conk Z, Başbakkal Z, Yılmaz E, Bolışık B. *Pediatride Aile Merkezli Bakım*. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi; 2018.
4. Pekyiğit A, Yıldız D, Eren Fidancı B, Çalık Bağriyanık B. Factors influencing the hospital experience of children with chronic diseases. *J Clin Nurs*. 2021;30(5-6):789-797.
5. Öztürk M. Çocukların hastanede geçirdiği süre boyunca aktiviteleri ve etkileyen faktörler. *Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 1998;4(1):33-40.
6. Çavuşoğlu H. Çocuklarda hastane fobisi ve tedavi süreçlerinin oyunla desteklenmesi. *Türk Hemşirelik Dergisi*. 2013;55(4):256-263.
7. Perrin EC. Health and developmental outcomes of children with chronic illnesses. *J Pediatr*. 2002;140(2):182-189.
8. Groves D, Weaver K. Chronic childhood illness and maternal mental health. *Pediatrics*. 2007;119(3):487-494.
9. Williams KE, Berthelsen D, Nicholson JM. Children's play during chronic illness: A therapeutic perspective. *Play Therapy Journal*. 2021;45(2):67-81.
10. Günay O, Sevinç N, Aslantaş EE. Hastanede yatan çocukların annelerinde durumluk ve sürekli anksiyete düzeyi ve ilişkili faktörler. *Turkish Journal of Public Health*. 2017;15(3).
11. Kerimoğlu Y, Boztepe A. Çocukların hastaneye uyumunu kolaylaştırmada oyunun etkisi. *Pediatrik Hemşirelik Dergisi*. 2014;2(3):40-46.
12. Li HC, Chung OK, Ho KY, Kwok BM. Play interventions to reduce anxiety and negative emotions in hospitalized children. *Clinical Nursing Research*. 2016;25(3):239-259.
13. Avan G, Koç S, Vural F. Hastane ortamında çocuklarla oyun terapisi. *Türk Pediatri Dergisi*. 2020;63(4):252-258.
14. Hudson J, Craig J, Wong K. Chronic illness and its impact on children's development. *Journal of Child Health Care*. 2014;18(3):243-255.
15. Silva C, Cabral P. Play therapy in children with cancer. *Journal of Pediatric Oncology Nursing*. 2014;31(4):220-225.
16. Arslan E, Buldukluoğlu K. Okul öncesi dönemde oyun terapisi. *Çocuk Gelişimi Dergisi*. 2015;10(3):45-58.
17. Baranowski T, Blumberg F, Buday R, DeSmet A, Fiellin LE, Green CS, Young K. Games for health for children—current status and needed research. *Games for Health Journal*. 2015;4(1):1-12.
18. Erbay E, Durmuşoğlu Saltalı N. *Oyun ve Oyuncak: Çocuk Gelişiminde Yeri ve Önemi*. Pegem Yayınları; 2012.
19. Çavuşoğlu H. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları*. Ankara: Sistem Yayıncılık; 2008.
20. Akandere M. *Fiziksel Aktivitenin Çocuk Gelişimine Etkileri*. Gazi Üniversitesi Yayınları; 2006.
21. Koçyiğit S, Tuğluk MN, Kök M. *Oyun ve Oyuncaklar*. Anı Yayıncılık; 2007.
22. Kandır A, Tezel Şahin F. *Okul Öncesi Çocuklar İçin Gelişimsel Aktiviteler*. Morpa Kültür Yayınları; 2011.
23. Blackburn ST. *Maternal, Fetal, & Neonatal Physiology: A Clinical Perspective*. Elsevier Health Sciences; 2012.
24. Koukourikos K, Tzeha L, Pantelidou P, Tsaloglidou A. The importance of play during hospitalization of children. *Mater Sociomedica*. 2015;27(6):438-441.
25. Baykoç Dönmez N. *Oyun ve Çocuk*. Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı Yayınları; 1992.
26. Kyle TV. *Essentials of Pediatric Nursing*. Wolters Kluwer Health; 2008.
27. Altay N, Güneş Şan E. 3–6 yaş grubu çocuklar için psikososyal durum değerlendirme ölçeği geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Türk Pediatri Dergisi*. 2021;56(4):210-218.
28. Karatel M. Denver II gelişimsel tarama testi uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*. 2019;6(3):123-129.

29. Rohan Patel, Emma McQueen, Caitlyn Gold; Dijital Medyaya Maruz Kalmanın Dengelenmesi: Erken Çocuklukta Dil ve Sosyal Gelişimin Geliştirilmesi. *Pediatr Rev* Mayıs 2025; 46 (5): 245–257.

Çizelge 3. Çocukların Tanımlayıcı Özelliklere Göre Dağılımı (n=50)

Gruplar	Sayı (n)	Yüzde (%)
Çocuğun Yaşı		
3	4	8.0
4	11	22.0
5	16	32.0
6	19	38.0
Çocuğun Cinsiyeti		
Kız	24	48.0
Erkek	26	52.0
Çocuğun Eğitim Durumu		
Okula Gitmiyor	40	80.0
Okula Gidiyor	10	20.0
Çocuğun Yattığı Servis		
Çocuk Cerrahi Servisi	1	2.0
Çocuk Enfeksiyon Servisi	3	6.0
Çocuk Hematoloji Servisi	6	12.0
Çocuk Onkoloji Servisi	7	14.0
Genel Çocuk Servisi	16	32.0
Çocuk Nefroloji Servisi	7	14.0
Metabolik Hastalıklar Servisi	8	16.0
Çocuk Endokrin Servisi	2	4.0
Çocuğun Kronik Hastalığı		
Enfeksiyon Hastalığı	3	6.0
Hematolojik Hastalık	6	12.0
Onkolojik Hastalık	7	14.0
Nefrolojiik Hastalık	7	14.0
Metabolik Hastalık	8	16.0
Endokrin Hastalığı	3	6.0
İmmünolojik Hastalık	3	6.0
Nörolojik Hastalık	10	20.0
Solunumsal Hastalık	1	2.0
Romatolojik Hastalık	1	2.0
Cerrahi Hastalık	1	2.0
Annenin Eğitim Durumu		
İlköğretim Ve Altı	33	66.0
Ortaöğretim	10	20.0
Üniversite	7	14.0
Annenin Mesleği		
Ev Hanımı	46	92.0
Memur	1	2.0
Diğer	3	6.0

Annede Kronik Hastalık Varlığı		
Var	8	16.0
Yok	42	84.0
Ailenin Sosyal Güvencesi Varlığı		
Var	40	80,0
Yok	10	20,0
Babanın Eğitim Durumu		
İlköğretim Ve Altı	21	42.0
Ortaöğretim	17	34.0
Üniversite	12	24.0
Babanın Mesleği		
Çalışmıyor	2	4.0
Emekli	1	2.0
Memur	7	14.0
Diğer	40	80.0
Babada Kronik Hastalık Varlığı		
Var	7	14.0
Yok	43	86.0
Ailenin Çocuk Sayısı		
1	7	14.0
2	12	24.0
3	13	26.0
4 ve Üzeri	18	36.0
	Ort	**SS**
Çocuğun Yaşı	5.000	0.969
Annenin Yaşı	33.980	6.153
Babanın Yaşı	37.520	5.950

Çizelge 4. Çocukların Hastanedeki Boş Zaman Aktiviteleri (n=50)

Gruplar	Sayı (n)	Yüzde (%)
Çocuğun hastanede hangi oyunları tercih ettiği*		
Dijital Materyaller	48	96
Kutu Oyunları	1	2
Eğitici Materyaller	25	50
Müzik Aletleri	1	2
Nesneler	7	14
Arabalar	11	22
Bebekler	19	38
Hastanede Koleksiyon Yapma Durumu		
Evet	5	10
Hayır	45	90
Hastanede Eğitici Oyunlar Oynama Durumu		
Evet	26	52
Hayır	24	48
Hastanede Oynanan Eğitici Oyunlar (n=26)*		
Puzzle	9	34.6
Boyama	19	73.1
Lego	9	34.6

Kesme	1	3.8
Arkadaşlarıyla Görüşme Fırsatı		
Evet	6	12
Hayır	44	88
Arkadaşlarıyla Görüşme Sıklığı		
Hiç	1	16.7
Haftada 1 Defa	3	50
Haftada 2 Defa	1	16.7
Haftada 3 Defa	1	16.7
Hastane ortamında akrabalarıyla zaman geçirirken en çok hangi aktivitelerin yapıldığı*		
Sohbet	26	52
Dijital Oyunlar	8	16
Nesne Oyunları	6	12
Drama Oyunları	1	2
El Oyunları	5	10
Eğitsel Oyunlar	4	8
Akrabalarla Görüşme Sıklığı		
Hiç	18	36
İki Haftada 1 Defa	1	2
Haftada 1 Defa	17	34
Haftada 2 Defa	4	8
Haftada 3 Defa	4	8
Her Gün	6	12
Hastanede Birlikte Yapılan Aktiviteler varlığı		
Evet	36	72
Hayır	14	28
Hastanede Birlikte Yapılan Aktiviteler (n=36)*		
Sohbet	19	52.8
Dijital Oyunlar	13	36.1
Nesne Oyunları	5	13.9
El Oyunları	2	5.6
Eğitsel Oyunlar	7	19.4

*Birden fazla seçilen madde

Çizelge 5. Çocukların Evde Boş Zaman Aktiviteleri (n=50)

Gruplar	Sayı (n)	Yüzde (%)
Evde Oyun Alanı Varlığı		
Evet	41	82
Hayır	9	18
Çocuğun evde boş zamanlarında oynadığı oyunlar*		
Fiziksel Oyunlar	42	84
Drama Oyunları	10	20
Dijital Oyunlar	47	94
Nesne Oyunları	44	88
Eğitsel Oyunlar	45	90
Mutfak Oyunları Ve Eşyaları	20	40
Bahçe	24	48
Park	42	84
Evcil Hayvan	13	26
Akrabalarla Görüşme	47	94
Arkadaşlarla Görüşme	49	98
Çocuğun oyun oynarken tercih ettiği oyuncak ve materyaller*		
Sportif Materyaller	45	90
Dijital Materyaller	49	98

Kutu Oyunları	6	12
Eğitici Materyaller	46	92
Oyun Setleri	5	10
Arabalar	24	48
Bebekler	26	52
Evde Koleksiyon Yapma Durumu		
Evet	10	20
Hayır	40	80
Evde Eğitici Oyunlar Oynama Durumu		
Evet	45	90
Hayır	5	10
Evde Oynanan Eğitici Oyunlar (n=45)*		
Puzzle	20	44.4
Lego	33	73.3
Boyama	35	77.8
Kesme	11	24.4
Evde Akranlarla Görüşme Fırsatı		
Evet	49	98
Hayır	1	2
Hastane dışında akranlarıyla zaman geçirirken hangi aktivitelerin tercih edildiği*		
Fiziksel Oyunlar	41	82
Drama Oyunları	9	18
Dijital Oyunlar	7	14
Nesne Oyunları	27	54
Eğitsel Oyunlar	13	26
Mutfak Oyunları Ve Eşyaları	4	8
Bahçe	15	30
Arabalar	12	24
Bebekler	12	24
Park	23	46
Çocuğun Günlük Hayatında Katıldığı Kurs		
Yüzme	1	2
Özel Eğitim	6	12
Konuşma Terapisi	1	2
Fizik Tedavi	2	4
Jimnastik	1	2
Yok	39	78
Çocuğun Günlük Hayatında Katıldığı Fiziksel Aktivite		
Koşu	3	6
Fizik Tedavi	7	14
Futbol	2	4
Evde Spor	1	2
Jimnastik	1	2
Yok	36	72
Çocuk Günlük Hayatında Bahçe İşleriyle Uğraşma Durumu		
Evet	30	60
Hayır	20	40
Evcil Hayvan Olma Durumu		
Evet	14	28
Hayır	36	72
Evcil Hayvan İle İlgilenme Süresi Ve Sıklığı		
1	9	64.3
2	4	28.6

3	1	7.1
Parka Gitme Sıklığı		
Hiç	4	8
Ayda 1 Defa	11	22
Haftada 1 Defa	15	30
Haftada 2 Ve Daha Fazla	10	20
Her Gün	10	20
Akrabalarla Zaman Geçirme		
Evet	47	94
Hayır	3	6
Zaman Geçirmekten Hoşlandığı Akraba Varlığı		
Evet	47	94
Hayır	3	6
Mutfak İşleri İle Uğraşma Durumu		
Evet	27	54
Hayır	23	46
Fiziksel Aktivitelere Katılacak Kadar Sağlıklı Olma Durumu		
Evet	35	70
Hayır	15	30
Fiziksel Aktivite Yaparken Çabuk Sıkılma Durumu		
Evet	35	70
Hayır	15	30
Fiziksel Aktivite Yaparken Kaygılanma Durumu		
Evet	38	76
Hayır	12	24
Fiziksel Aktivite Yapabileceği Ortam Varlığı		
Evet	26	52
Hayır	24	48
Fiziksel Aktivite Yapabileceği Ortam Koşullarının Uygunluğu (n=26)		
Evet	18	69.2
Hayır	8	30.8
Fiziksel Aktivite Yapılacak Yerlerin Temizliği (n=26)		
Evet	16	61.5
Hayır	10	38.5
Fiziksel Aktivite Yapılacak Yerlerin Güvenliği (n=26)		
Evet	18	69.2
Hayır	8	30.8
Fiziksel Aktivite Sırasında Denge Koordinasyon Sorunu Yaşama Durumu		
Evet	15	30
Hayır	35	70
Fiziksel Aktivite Yapacak Birilerini Bulabilme Durumu		
Evet	26	52
Hayır	24	48
Fiziksel Aktivitelere Katılmasına Destek Olma Durumu		
Evet	32	64
Hayır	18	36
	Ort	**SS**
Günlük Hayatta Oyuna Ayrılan Saat	5.180	2.283
Evde Birlikte Zaman Geçirme Saati	4.600	2.556
Evde Oyun Alanında Zaman Geçirme Süresi	2.800	1.662
Annenin Günlük Telefon Kullanma Süresi	2.380	1.455
Babanın Günlük Telefon Kullanma Süresi	2.940	1.994
Çocuğun Günlük Telefon Kullanma Süresi	3.040	2.555

*Birden fazla seçilen madde

Çizelge 6. Denver Gelişim Puan Ortalamaları

	N	Ort	SS	Min.	Maks.
Dil Gelişimi	50	1.860	0.857	1.000	3.000
Kişisel Sosyal Gelişim	50	2.020	0.892	1.000	3.000
Kaba Motor Gelişimi	50	1.480	0.762	1.000	3.000
İnce Motor Gelişimi	50	1.400	0.756	1.000	3.000

Çizelge 5. 3-6 Yaş Kronik Hastalığı Olan Çocukların Dağılımı

Gruplar	Sayı (n)	Yüzde(%)
Hastalık		
1. Grup	18	36.0
2. Grup	13	26.0
3. Grup	19	38.0

Çizelge 6. Hastalık Gruplarına Göre Denver Genel Gelişim Dağılımı

		1. Grup		2. Grup		3. Grup		p
		n	%	n	%	n	%	
Denver Genel Gelişim	Normal	2	%11.1	2	%15.4	4	%21.1	X^2=1.732 p=0.785
	Şüpheli	5	%27.8	5	%38.5	4	%21.1	
	Anormal	11	%61.1	6	%46.2	11	%57.9	

Ki-KareAnalizi

Çizelge 7. Denver Gelişim, Psikososyal Durum ve Serbest Zaman Fiziksel Aktivite Kısıtlayıcıları Puanları Arasında Korelasyon Analizi

		Dil Gelişimi	Kişisel Sosyal Gelişim	Kaba Motor Gelişimi	İnce Motor Gelişimi	Psikososyal Durum Toplam	Serbest Zaman Fiziksel Aktivite Kısıtlayıcıları Genel	Fiziksel Algı	Gelir	Zaman	Aile	Yetenek Algısı	Sosyal Çevre	Tesis	İrade
Dil Gelişimi	r	1.000													
	p	0.000													
Kişisel Sosyal Gelişim	r	0.377**	1.000												
	p	0.007	0.000												
Kaba Motor Gelişimi	r	0.230	0.196	1.000											
	p	0.108	0.173	0.000											
İnce Motor Gelişimi	r	0.435**	0.351*	0.262	1.000										
	p	0.002	0.012	0.066	0.000										
Psikososyal Durum Toplam	r	0.445**	0.350*	0.282*	0.384**	1.000									
	p	0.001	0.013	0.047	0.006	0.000									
Serbest Zaman	r	0.359*	0.326*	0.073	0.405**	0.451**	1.000								

Fiziksel Aktivite Kısıtlayıcıları Genel	p	0.011	0.021	0.614	0.004	0.001	0.000								
Fiziksel Algı	r	0.556**	0.463**	0.171	0.443**	0.595**	0.707**	1.000							
	p	0.000	0.001	0.234	0.001	0.000	0.000	0.000							
Gelir	r	0.157	0.251	-0.050	0.169	0.278	0.708**	0.270	1.000						
	p	0.275	0.079	0.732	0.242	0.051	0.000	0.058	0.000						
Zaman	r	0.147	-0.126	-0.070	0.234	0.122	0.663**	0.294*	0.371**	1.000					
	p	0.309	0.382	0.631	0.102	0.398	0.000	0.038	0.008	0.000					
Aile	r	0.238	0.195	0.114	0.222	0.214	0.772**	0.369**	0.469**	0.497**	1.000				
	p	0.095	0.174	0.431	0.120	0.136	0.000	0.008	0.001	0.000	0.000				
Yetenek Algısı	r	0.455**	0.454**	0.178	0.441**	0.556**	0.736**	0.755**	0.282*	0.352*	0.542**	1.000			
	p	0.001	0.001	0.217	0.001	0.000	0.000	0.000	0.047	0.012	0.000	0.000			
Sosyal Çevre	r	0.016	0.224	-0.096	0.265	0.163	0.755**	0.387**	0.669**	0.348*	0.517**	0.408**	1.000		
	p	0.915	0.119	0.508	0.063	0.257	0.000	0.005	0.000	0.013	0.000	0.003	0.000		
Tesis	r	0.318*	0.331*	-0.021	0.430**	0.420**	0.825**	0.617**	0.663**	0.408**	0.513**	0.599**	0.718**	1.000	
	p	0.025	0.019	0.886	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	
İrade	r	0.348*	0.287*	0.250	0.288*	0.473**	0.809**	0.698**	0.473**	0.544**	0.603**	0.569**	0.463**	0.493**	1.000
	p	0.013	0.043	0.079	0.043	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000

*<0.05; **<0.01; Pearson Korelasyon Analizi.

The Status of the Nurses Working in the Field of Child Health and Diseases in Implementing Their Roles and Functions, and the Factors Affecting This

Şenay Çetinkaya[1]

[1] Çukurova University, Faculty of Health Sciences, Child Health and Nursing, Çukurova University, Adana, Turkey. (PhD, Prof.Dr.) ORCID: 0000-0001-9578-5610 scetinkaya@cu.edu.tr, senayckaya@gmail.com

Abstract

Introduction and Aim: The purpose and basic function of nursing is to help healthy or sick individuals. The research was conducted to determine the roles and functions of nurses working in child health related areas in Adana city center through their responses; to examine the implementation status of these roles and the factors affecting them.

Method: The study was conducted in the pediatric wards, emergency, intensive care and polyclinics of Çukurova University Balcalı Hospital, Adana Numune Training and Research Hospital, Adana Maternity and Child Diseases Hospital, Adana city center, between December 1, 2018 and May 1, 2019. Data were collected using 19 socio-demographic questions and the Scale for the Application of the Roles and Functions of Pediatric Nurses developed by Yüzer and Yiğit in 2005.

Results: It was determined that 20 nurses (45.4%) were in the 26-35 age group, 39(88.6%) were female, 26(59.1%) were married, 29(65.9%) had a bachelor's degree/above, and 21(47.7%) had been working for 6-15 years. It was determined that 25 nurses (56.8%) worked in the pediatric ward/surgery, 35(79.5%) received in-service training, 25 (56.8%) attended a course, and 10 (40%) had attended the course for more than 1 year. It was determined that 23 (52.3%) of them did not work willingly in the clinic they currently work in, 42 (95.5%) of them loved children and 35 (79.5%) of them felt competent in the field of child health. It was determined that 42 nurses (95.5%) wanted to participate in scientific activities in child health and wanted to receive scientific activities from faculty members, 39 (88.6%) of them played entertaining roles for children to reduce stress, and 41 (93.2%) of them played educational roles for children.

Conclusion: A statistically significant difference was found in terms of caregiver and health protective role scores, advocate and decision-maker role score, rehabilitative role scores, and counseling role scores according to the clinic worked in ($p<0.05$). It was determined that the scores given by those working in pediatric ward/surgical clinics were statistically significantly higher than those working in pediatric intensive care.

Keywords: Child Health and Disease Nursing, Nursing, Roles and Functions, Health.

Introduction and Objective

The purpose of existence and basic function of nursing is to help healthy or sick individuals. Role is defined as 'the behaviour expected from a person in a certain position or assigned with a certain function'. Professional paediatric nurses have the responsibility to provide high quality care. The working areas of paediatric nurses include a wide range including clinics of children's hospitals, neonatal intensive care units, paediatric surgery clinics, nurseries, kindergartens, primary schools, high schools, private polyclinics and hospitals, home care centres, rehabilitation centres, kindergartens, children's villages, day care centres, child psychiatry centres and summer camps (1-5).

The aim of this study was to determine the roles and functions of nurses working in areas related to child health in Adana province centre and to examine the status of their implementation of these roles and the factors affecting them.

Materials and Methods

The study was conducted between 01 December 2018 and 01 May 2019 in Adana city centre, Çukurova University Balcalı Hospital, Adana Numune Training and Research Hospital, Adana Obstetrics and Gynecology Hospital in Turkey, in pediatric services, emergency, intensive care and outpatient clinics. The nurses who were determined by simple random sampling method were included in the study without selecting a sample.

Data were collected with socio-demographic questions consisting of 19 questions and the Scale of Implementation of Roles and Functions of Paediatric Nurses developed by Yüzer and Yiğit in 2005. Factor analysis of the scale yielded an eight-dimensional scale with 63 items, and Cronbach's reliability was found to be 0.96 (6).

Data Evaluation

Statistical analyses were performed using SPSS (IBM SPSS Statistics 24) package programme. Frequency tables and descriptive statistics were used to interpret the findings. Parametric methods were used for measurement values suitable for normal distribution. In accordance with parametric methods, 'Independent Sample-t' test (t-table value) was used to compare the measurement values of two independent groups and 'ANOVA' test (F-table value) was used to compare with the measurement values of three or more independent groups.

Nonparametric methods were used for measurement values that were not suitable for normal distribution. In accordance with nonparametric methods, the 'Mann-Whitney U' test (Z-table value) was used to compare the measurement values of two independent groups and the

'Kruskal-Wallis H' test (χ2-table value) was used to compare the measurement values of three or more independent groups. Bonferroni correction was applied for pairwise comparisons of variables with significant differences for three or more groups.

Results

20 nurses (45.4%) were in the 26-35 age group, 39 (88.6%) were female, 26 (59.1%) were married, 29 (65.9%) had a bachelor's degree or higher, and 21 (47.7%) had been working for 6-15 years. It was determined that 25 nurses (56.8%) worked in paediatric ward/surgery, 35 (79.5%) received in-service training, 25 (56.8%) attended the course and 10 (40%) attended the course more than 1 year ago (Table 1).

It was determined that 23 (52.3%) of the nurses did not willingly work in the clinic where they were currently working, 42 (95.5%) of them liked children and 35 (79.5%) of them felt competent in the field of child health. It was determined that 42 nurses (95.5%) had a desire to participate in scientific activities in child health and wanted to receive the scientific activity from the faculty member, 39 (88.6%) exhibited the role of entertaining children to reduce stress, and 41 (93.2%) performed the role of educating children (Table 2).

A statistically significant difference was found in terms of caregiver and health protective role scores according to the clinic (Z=-2,404; p=0,016). The care-giving and health-protective role scores of those working in paediatric ward/surgical clinics were statistically significantly higher than those working in paediatric intensive care (Table 3).

A statistically significant difference was found in terms of advocacy and decision-making role scores according to the clinic (Z=-1,968; p=0,049). The advocacy and decision-making role scores of those working in paediatric ward/surgical clinics were statistically significantly higher than those working in paediatric intensive care (Table 3).

A statistically significant difference was found in terms of rehabilitative role scores according to the clinic worked in (Z=-2,581; p=0,010). The rehabilitative role scores of those working in paediatric ward/surgical clinics were statistically significantly higher than those working in paediatric intensive care (Table 3).

A statistically significant difference was found in terms of counselling role scores according to the clinic worked in (Z=-2,607; p=0,009). The counselling role scores of those working in paediatric ward/surgical clinics were statistically significantly higher than those working in paediatric intensive care (Table 3).

Findings related to the scale are given in Table 4.

Conclusion

A statistically significant difference ($p<0.05$) was found in terms of care-giving and health-protective role scores ($Z=-2.404;p=0.016$), defender and decision-making role scores ($Z=-1.968;p=0.049$), rehabilitative role scores ($Z=-2.581;p=0.010$), and counselling role scores ($Z=-2.607;p=0.009$). It was determined that the scores given by those working in paediatric ward/surgical clinics were statistically significantly higher than those working in paediatric intensive care.

Table 1. Distribution of findings related to nurses

Variable (N=44)	n	%
Age groups		
18-25	16	36.4
26-35	20	45.4
36 and over	8	18.2
Gender		
Female	39	88.6
Male	5	11.4
Marital status		
Married	26	59.1
Single	18	40.9
Level of education		
Sağlık meslek lisesi	11	25.0
Ön lisans	4	9.1
Undergraduate and above	29	65.9
Working time		
Less than 1 year	3	6.8
1-5	13	29.5
6-15	21	47.7
16-20	1	2.4
Over 20	6	13.6
Working clinic		
Paediatric service/surgery	25	56.8
Paediatric service/surgery	19	43.2
In-service training on child health		
Yes	35	79.5
No	9	20.5
Attending a course on child health		
Yes	25	56.8
No	19	43.2
Time to attend a child health course		
Less than 6 months	8	32.0
6 months - 1 year	7	28.0
More than 1 year	10	40.0

Table 2. Distribution of findings related to nurses

Variable (N=44)	n	%
Attending a congress on child health		
Yes	18	40.9
No	26	59.1
Time to attend the child health congress		
Less than 6 months	3	16.7
6 months - 1 year	4	22.2
More than 1 year	11	61.1
Willingness to work in paediatric clinics		
Yes	21	47.7
No	23	52.3
Loving children		
Yes	42	95.5
No	2	4.5
Feeling competent in the field of child health		
Yes	35	79.5
No	9	20.5
Willingness to participate in scientific activity in child health		
Yes	42	95.5
No	2	4.5
Requesting scientific activity from the lecturer		
Yes	42	95.5
No	2	4.5
Opinion about the role of entertaining children		
It is done to reduce stress	39	88.6
Unavailable due to workload/stress	5	11.4
Opinion about the role of educating children		
Implementing the role of educating children	41	93.2
Children's educational role is not implemented	3	6.8

Table 3. Some characteristics of nurses and findings related to the Roles and Functions of Paediatric Nurses Scale

Variable (N=44)	n	Caring/protective role		Educational and investigative role		Advocacy and decision-making role		Comforting role	
		$\bar{X} \pm S.S.$	Medyan [IQR]	$\bar{X} \pm S.S.$	Medyan [IQR]	$\bar{X} \pm S.S.$	Medyan [IQR]	$\bar{X} \pm S.S.$	Medyan [IQR]
Age groups									
18-25	16	51.56±6.22	49.5 [9.5]	41.19±6.84	41.5 [11.5]	36.69±7.61	37.0 [10.5]	45.13±9.61	47.0 [13.5]
26-35	20	51.35±6.30	50.5 [9.5]	40.30±4.99	40.5 [6.5]	37.50±4.38	38.0 [6.3]	45.10±4.95	44.5 [6.0]
36 and above	8	51.50±4.84	49.0 [8.5]	42.00±4.57	40.5 [8.3]	39.13±3.31	38.0 [6.0]	46.25±5.23	44.0 [9.8]
Statistical analysis*		χ^2=0.029		F=0.281		χ^2=0.626		χ^2=0.522	
Probability		p=0.986		p=0.756		p=0.731		p=0.770	
Level of education									
Health vocational high school	11	52.36±6.02	50.0 [9.0]	41.91±4.21	41.0 [6.0]	36.73±7.64	39.0 [9.0]	46.27±9.00	47.0 [9.0]
Undergraduate and above	33	51.15±5.93	50.0 [8.5]	40.60±5.99	40.0 [6.5]	37.76±4.84	38.0 [5.5]	45.00±6.19	44.0 [8.5]
Statistical analysis		t=0.585		t=0.666		t=-0.525		Z=-1.346	
Probability		p=0.562		p=0.509		p=0.602		p=0.178	
Working time									
5 years and less	16	50.31±5.62	49.0 [8.8]	40.50±6.79	39.0 [10.8]	35.56±7.07	36.0 [8.5]	43.88±8.93	45.0 [8.5]
6-15	21	52.38±6.01	55.0 [9.0]	41.29±4.44	42.0 [5.5]	38.52±4.23	38.0 [6.5]	45.90±5.24	45.0 [7.5]
16 years and over	7	51.29±6.65	49.0 [12.0]	40.86±6.44	39.0 [11.0]	38.86±4.84	38.0 [9.0]	46.86±6.44	42.0 [12.0]
Statistical analysis		F=0.549		F=0.087		F=1.560		χ^2=0.101	
Probability		p=0.582		p=0.917		p=0.222		p=0.951	
Working clinic									
Paediatric service/surgery	25	53.44±5.29	56.0 [9.0]	42.08±4.94	42.0 [7.5]	38.84±5.36	39.0 [7.0]	46.28±7.44	45.0 [8.5]
Pediatric intensive care	19	48.84±5.76	49.0 [7.0]	39.42±6.13	38.0 [7.0]	35.74±5.23	36.0 [5.0]	44.06±6.11	45.0 [7.0]
Statistical analysis		Z=-2.404		t=1.592		Z=-1.968		Z=-1.319	
Probability		**p=0.016**		p=0.119		**p=0.049**		p=0.187	

*'Independent Sample-t' test (t-table value) was used to compare the measurement values of two independent groups for normally distributed data; 'ANOVA' test (F-table value) statistics were used to compare three or more independent groups. For non-normally distributed data, 'Mann-Whitney U' test (Z-table value) was used to compare the measurement values of two independent groups; 'Kruskall-Wallis H' test (χ2-table value) statistics were used to compare three or more independent groups.

Table 3 (continued). Some characteristics of the nurses and findings related to the Roles and Functions of Paediatric Nurses Scale

Variable (N=44)	n	Rehabilitative role		Counselling role		Managing/coordinating role		Communicator-Collaboration role	
		$\bar{X} \pm S.S.$	Medyan [IQR]	$\bar{X} \pm S.S.$	Medyan [IQR]	$\bar{X} \pm S.S.$	Medyan [IQR]	$\bar{X} \pm S.S.$	Medyan [IQR]
Age groups									
18-25	16	16.06±3.49	16.0 [5.0]	11.63±2.60	12.0 [3.8]	40.13±6.96	40.5 [9.0]	15.75±3.23	15.5 [6.3]
26-35	20	15.45±3.24	15.0 [6.8]	11.40±2.68	12.0 [3.3]	39.80±5.52	39.5 [5.8]	15.40±3.15	16.0 [5.5]
36 and above	8	16.25±2.37	16.0 [4.3]	12.12±2.10	12.0 [3.8]	43.00±4.14	42.0 [7.0]	15.38±3.85	16.0 [3.5]
Statistical analysis*		χ^2=0.860		χ^2=0.208		F=0.893		F=0.059	
Probability		p=0.651		p=0.901		p=0.417		p=0.942	
Level of education									
Health vocational high school	11	16.45±2.54	16.0 [5.0]	12.27±2.10	12.0 [3.0]	40.00±5.62	40.0 [7.0]	16.18±2.79	17.0 [4.0]
Undergraduate and above	33	15.61±3.33	16.0 [6.0]	11.39±2.63	12.0 [3.0]	40.67±6.04	40.0 [6.0]	15.31±3.39	16.0 [5.5]
Statistical analysis		Z=-0.704		Z=-1.003		t=-0.322		t=0.776	
Probability		p=0.482		p=0.316		p=0.749		p=0.442	
Working time									
5 years and less	16	16.38±3.14	16.0 [4.8]	11.38±2.41	12.0 [2.8]	39.31±6.71	40.0 [8.3]	16.06±3.36	16.0 [6.8]
6-15	21	15.33±3.21	15.0 [5.5]	11.62±2.75	12.0 [3.5]	40.48±5.39	41.0 [5.5]	14.76±3.23	16.0 [4.5]
16 years and over	7	16.00±3.21	16.0 [6.0]	12.14±2.27	12.0 [5.0]	43.29±5.06	42.0 [10.0]	16.57±2.82	16.0 [5,0]
Statistical analysis		χ^2=1.507		χ^2=0.553		F=1.118		F=1.178	
Probability		p=0.471		p=0.758		p=0.337		p=0.318	
Working clinic									
Paediatric service/surgery	25	16.84±2.75	16.0 [5.0]	12.44±1.94	12,0 [2,0]	41.08±5.48	40.0 [5.5]	15.88±2.65	16.0 [3.5]
Pediatric intensive care	19	14.47±3.20	14.0 [4.0]	10.53±2.81	11,0 [3,0]	39.74±6.44	40.0 [7.0]	15.05±3.91	15.0 [8.0]
İstatistiksel analiz		Z=-2.581		Z=-2.607		t=0.747		t=0.836	
Olasılık		**p=0.010**		**p=0.009**		p=0.459		p=0.408	

*'Independent Sample-t' test (t-table value) was used to compare the measurement values of two independent groups for normally distributed data; 'ANOVA' test (F-table value) statistics were used to compare three or more independent groups. For non-normally distributed data, 'Mann-Whitney U' test (Z-table value) was used to compare the measurement values of two independent groups; 'Kruskall-Wallis H' test (χ2-table value) statistics were used to compare three or more independent groups.

Table 4. Distribution of nurses' scores on the scale

Roles/Functions of Paediatric Nurses Scale	Average	Standard Deviation	Median	Min.	Max.
Caring/protective role	51.45	5.90	50.0	40.0	60.0
Educational and researcher role	40.93	5.58	41.0	24.0	50.0
Advocacy and decision-making role	37.50	5.59	38.0	23.0	45.0
Relaxing role	45.32	6.91	45.0	22.0	55.0
Rehabilitative role	15.82	3.15	16.0	9.0	20.0
Counselling role	11.61	2.52	12.0	4.0	15.0
Managing/co-ordinating role	40.50	5.88	40.0	25.0	50.0
Communicator-Business co-operation role	15.52	3.24	16.0	7.0	20.0

References

1. Babadağ K. Hemşirelik ve Değerler. 1. Baskı. Ankara, Türkiye: Alter Yayıncılık. 2010. Birol L. Hemşirelik Süreci. İzmir, Türkiye: Etki Matbaacılık Yayıncılık Ltd. Şti. 2009.

2. Conk Z, Başbakkal Z, Yardımcı F. Çocuk Sağlığına Genel Bakış. Conk Z, Başbakkal Z, Yardımcı F, Bolışık B. Pediatri Hemşireliği. 2. Baskı, Ankara: Akademisyen Kitabevi, 2018: 1-45.

3. Dubois CA, Mckee M, Nolte E. Human Resources for Health in Europe, European Observatory on Health Systems and Policies Series, Open University Press. 2006.

4. Köşgeroğlu, N. Hemşirelik ve Estetik-Hemşire Olmak Hayata. 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: Nobel Tıp Kitapevleri Ltd. Şti., 2013;2-64.

5. Velioğlu, P. Hemşirelikte Kavram ve Kuramlar. 2.Baskı. İstanbul, Türkiye: Akademi Basın ve Yayıncılık. 2012.

6. Yiğit R, Yüzer S. Çocuk kliniğinde çalışan hemşirelerin rol ve işlevlerini uygulama düzeyleri. Hemşirelikte Araştırma Geliştirme Dergisi, 2007; 9(1):16-27.

DİJİTAL EKRAN BAĞIMLILIĞININ SAĞLIK İNANÇ MODELİNE UYARLANMASI

Doç. Dr. Semra KOCATAŞ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi

Hemşirelik Bölümü Halk Sağlığı Hemşireliği Anabilim Dalı, Sivas, Türkiye

skocatas@gmail.com ORCID ID: 0000-0001-7566-0060

Şule SEVİMLİGÜL

Hemşire Şule SEVİMLİGÜL

Sivas İl Sağlık Müdürlüğü

(Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği Yüksek Lisans Öğrencisi)

sulesevimligull@gmail.com ORCID ID: 0009-0006-9035-7872

Esra ÖZ

Hemşire Esra ÖZ

Sivas Merkez Orhangazi Aile Sağlığı Merkezi

(Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği Yüksek Lisans Öğrencisi)

esranefi58@gmail.com ORCID ID: 0009-0002-7513-3329

Özet

Dijital teknolojilerin yaşamın her alanına hızla entegre olması, ekran kullanımını günlük rutinlerin vazgeçilmez bir parçasına dönüştürmüştür. Akıllı telefonlar, tabletler, bilgisayarlar ve çevrim içi içerik platformları, özellikle gençler ve genç yetişkinler arasında yoğun biçimde kullanılmakta; bu durum zamanla kontrol edilmesi güç bir davranış örüntüsüne dönüşerek dijital ekran bağımlılığı olarak tanımlanan önemli bir sağlık sorununu ortaya çıkarmaktadır. Ekran başında geçirilen sürenin artması yalnızca fiziksel sağlık üzerinde değil, aynı zamanda psikolojik ve sosyal yaşam üzerinde de etkili olmaktadır. Uyku düzeninin bozulması, dikkat dağınıklığı, fiziksel aktivitenin azalması ve sosyal ilişkilerden uzaklaşma gibi sonuçlar, ekran bağımlılığının bireyin yaşam kalitesini olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

Bu çerçevede, davranışların oluşumu ve sürdürülmesinde bilişsel süreçlerin rolünü açıklayan modeller, bağımlılık davranışını anlamada önemli bir yere sahiptir. Sağlık İnanç Modeli (SİM), risk algısı, yarar ve engel değerlendirmesi gibi bileşenleriyle bireylerin sağlıkla ilgili davranışlarını nasıl şekillendirdiğini ele alan etkili bir çerçevedir. Dijital ekran bağımlılığının SİM aracılığıyla incelenmesi, bireylerin ekran kullanımını azaltma ya da düzenleme konusundaki motivasyonlarını anlamaya katkı sağlayarak hem önleyici hem de müdahale edici stratejilerin geliştirilmesine zemin oluşturabilir. Bu nedenle bu çalışma, ekran bağımlılığını SİM ekseninde değerlendirerek konuya bütüncül bir bakış sunmayı amaçlamaktadır.

Abstract

The rapid integration of digital technologies into all areas of life has rendered screen use an indispensable part of daily routines. Smartphones, tablets, computers, and online content platforms are used intensively, particularly among adolescents and young adults; over time, this usage may evolve into a behavioral pattern that is difficult to control, leading to a significant health problem defined as digital screen addiction. Increased screen time affects not only physical health but also psychological and social well-being. Outcomes such as disrupted sleep patterns, attentional difficulties, reduced physical activity, and withdrawal from social relationships demonstrate that screen addiction can negatively influence individuals' quality of life. In this context, theoretical models that explain the role of cognitive processes in the emergence and maintenance of behaviors hold an important place in understanding addictive patterns. The Health Belief Model (HBM), with its components such as risk perception, benefit evaluation, and barrier assessment, provides an effective framework for explaining how individuals shape their health-related behaviors. Examining digital screen addiction within the scope of the HBM can contribute to understanding individuals' motivations to reduce or regulate screen use, thereby laying the groundwork for the development of both preventive and intervention strategies. Accordingly, this study aims to present a holistic perspective on screen addiction by evaluating it through the framework of the Health Belief Model.

Giriş

Dijital ekran bağımlılığı, bireyin akıllı telefon, tablet, bilgisayar veya televizyon gibi dijital ekranlara karşı kontrol edilemeyen ve zorlayıcı bir kullanım eğilimi geliştirmesi olarak tanımlanır. Bu durum, ekran kullanımının günlük yaşam aktivitelerini, sosyal ilişkileri ve bireyin fiziksel ya da psikolojik işlevselliğini olumsuz etkilemesiyle karakterizedir. Dijital ekran bağımlılığı yalnızca eğlence amaçlı kullanım ile sınırlı değildir; sosyal medya, dijital oyunlar, çevrim içi içerikler ve hatta eğitim veya iş amaçlı kullanım bile zamanla aşırıya kaçtığında bağımlılık davranışına dönüşebilmektedir (Kırlıoğlu ve ark., 2023).

Bağımlılığın temel özellikleri arasında kullanım süresinin giderek artması, ekran kullanımını bırakmaya çalışırken huzursuzluk veya gerginlik yaşanması, günlük sorumlulukların aksaması ve sosyal ilişkilerden uzaklaşma gibi belirtiler yer almaktadır. Ekranı bırakmakta zorlanmak, kullanım üzerindeki kontrolün kaybedildiğini gösteren önemli bir işarettir. Ayrıca bireyler çoğu zaman ekran kullanımının kendilerine zarar verdiğini bilseler bile bu davranışı sürdürmeye devam ederler. Dijital ekran bağımlılığı, özellikle çocuklar ve gençler arasında daha yaygın görülmekle birlikte yetişkinlerde de giderek artan bir sorun hâline gelmektedir. Yoğun ekran kullanımı uyku problemleri, fiziksel hareketsizlik, dikkat dağınıklığı ve psikososyal sorunlar gibi çeşitli sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle dijital ekran bağımlılığı, modern yaşamın önemli bir halk sağlığı sorunu olarak ele alınmaktadır (Yengin, 2019).

Sağlık İnanç Modeli

Genel olarak sorun davranışları, bağımlılıkları ve dijital ekran bağımlılığı gibi davranışsal bağımlılıkları ele alan, bu davranışların oluşmasında ve sürdürülmesinde bilişsel süreçlerin rolünü açıklayan modeller, bağımlılık davranışını anlamada önemli bir yere sahiptir. Sağlık İnanç Modeli (SİM), risk algısı, yarar ve engel değerlendirmesi gibi bileşenleriyle bireylerin sağlıkla ilgili davranışlarını nasıl şekillendirdiğini ele alan etkili bir çerçevedir. SİM, bireylerin sağlık davranışlarını nasıl değerlendirdiğini ve neden belirli davranışları benimsediklerini ya da benimsemediklerini irdeleyen bir modeldir. Model, insanların bir sağlık riskini algılama biçimlerinin, o riske karşı geliştirdikleri davranışları doğrudan etkilediğini varsayar. Bu kapsamda ilk bileşen olan algılanan duyarlılık, bireyin bir sağlık sorunuyla karşılaşma ihtimalini ne kadar gerçekçi gördüğünü ifade eder. Algılanan ciddiyet ise söz konusu sağlık durumunun bireyin yaşam kalitesi üzerindeki olası etkilerini değerlendirmesini içerir. Algılanan yararlar, bireyin sağlıklı bir davranışı benimsemesinin kendisine sağlayacağı olumlu sonuçları fark etmesiyle ilişkilidir. Buna karşılık algılanan engeller, davranışı uygulamada bireyin karşısına çıkan fiziksel, psikolojik veya çevresel zorlukları kapsar. Eyleme geçirici ipuçları, bireyi davranış değişikliğine yönelten hatırlatıcı ya da tetikleyici unsurlardır. Son

olarak öz-yeterlik, bireyin söz konusu davranışı gerçekleştirebileceğine olan inancını ifade eder. Bu bileşenlerin tümü birlikte değerlendirildiğinde, bireyin sağlık davranışı geliştirme süreçlerini anlamada önemli bir temel oluşturur (Gözüm ve Çapık, 2014).

Sağlık İnanç Modelinin Dijital Ekran Bağımlılığına Uyarlanması

Algılanan duyarlılık

Algılanan duyarlılık, bireyin belirli bir sağlık davranışına yönelik risk altında olup olmadığını nasıl değerlendirdiğiyle ilgilidir. Dijital ekran bağımlılığı bağlamında bu kavram, bireyin aşırı ekran kullanımının kendisi için bir tehdit oluşturabileceğini ne ölçüde düşündüğünü ifade eder. Bir kişi ekran karşısında fazla zaman geçirdiğini bilse bile, bunun sağlık ve yaşam üzerindeki olası olumsuz etkilerine dair risk algısı düşükse, davranışını değiştirme motivasyonu da zayıf olacaktır. Özellikle gençler ve genç yetişkinlerde ekran kullanımının "normal" bir günlük alışkanlık olarak görülmesi, duyarlılık algısını önemli ölçüde düşürmektedir. Bu nedenle birey, uyku bozukluğu, dikkat dağınıklığı ya da sosyal ilişkilerde zayıflama gibi belirtileri yaşasa bile bunları risk unsuru olarak değerlendirmeyebilir. Algılanan duyarlılık düşük olduğunda, ekran süresini azaltmaya yönelik adım atılması da güçleşir. Dolayısıyla kişinin kendini risk altında hissetmesi, dijital ekran kullanımına dair daha sağlıklı bir farkındalık geliştirmesi için kritik bir başlangıç noktasıdır (Yüksel ve ark., 2020; Söylemez, 2020).

Algılanan ciddiyet

Algılanan ciddiyet, bireyin belirli bir sağlık veya davranış sorununun yaşamı üzerindeki olası etkilerini ne kadar önemli ve tehdit edici gördüğünü ifade eder. Dijital ekran bağımlılığı bağlamında bu kavram, aşırı ekran kullanımının fiziksel, psikolojik ve sosyal sonuçlarının birey tarafından ne ölçüde fark edildiğini kapsar. Eğer kişi uzun süreli ekran kullanımının uyku düzenini bozabileceğini, dikkat dağınıklığı yaratabileceğini veya sosyal ilişkilerini zayıflatabileceğini yeterince ciddi bir sorun olarak değerlendirmiyorsa, davranış değişikliği için gerekli motivasyon da düşük olacaktır. Algılanan ciddiyet düzeyi yükseldiğinde birey, dijital ekran kullanımına ilişkin riskleri daha gerçekçi bir biçimde görür ve bu farkındalık, kullanım süresini azaltma ya da daha sağlıklı kullanım alışkanlıkları geliştirme eğilimini güçlendirir. Bu nedenle algılanan ciddiyet, davranış değişimini etkileyen önemli bir bileşendir (Koral ve Alptekin, 2023).

Algılanan yarar

Algılanan yarar, bireyin belirli bir davranış değişikliğinin kendisine sağlayacağı olumlu sonuçları ne ölçüde fark ettiğini ifade eder. Dijital ekran bağımlılığı bağlamında bu kavram, ekran süresini azaltmanın kişinin yaşam kalitesine nasıl katkı sağlayacağını değerlendirmesiyle ilgilidir. Örneğin birey, ekran kullanımını sınırladığında uyku düzeninin iyileşeceğini,

dikkatinin artacağını, fiziksel aktivite için daha fazla zaman bulacağını ve sosyal ilişkilerinin güçleneceğini düşündüğünde davranış değişikliğine yatkınlığı artar. Algılanan yararın yüksek olması, bireyin değişim için gerekli motivasyonu oluşturmasına önemli ölçüde katkı sağlar. Buna karşılık, ekran süresini azaltmanın bir fayda sağlamayacağına inanan bireylerde davranış değişikliği isteği oldukça düşüktür. Dolayısıyla kişilerin ekran kullanımını azaltmanın kısa ve uzun vadeli yararlarını görmeleri, dijital ekran bağımlılığıyla mücadelede kritik bir unsurdur. Algılanan yarar ne kadar güçlü olursa, davranışı değiştirme yönündeki eğilim de o kadar artar (Elkin ve Soydan, 2024).

Algılanan engel

Algılanan engeller, bireyin bir davranış değişikliğini gerçekleştirmesini zorlaştıran unsurlara ilişkin algısını ifade eder. Dijital ekran bağımlılığı bağlamında bu kavram, ekran süresini azaltmak isteyen bireyin karşılaştığı fiziksel, psikolojik veya sosyal zorlukları içerir. Örneğin, okul veya iş gereklilikleri nedeniyle dijital cihazları sürekli kullanmak zorunda olmak, ekran kullanımını sınırlandırmayı güçleştirebilir. Aynı şekilde sosyal medya bağlantılarını kaybetme korkusu, eğlence alışkanlıkları veya "kaçırma korkusu" gibi duygusal bağlar da önemli engeller arasında yer alır. Bazı bireyler ekranı stresle baş etme aracı olarak kullandığı için kullanım azaltma girişimleri zorlayıcı olabilir. Ayrıca, dijital ortamın sürekli uyarıcı yapısı, vazgeçilmez çekiciliği ve uygulamaların kullanıcıyı çevrimiçi tutmak için tasarlanmış özellikleri de engelleri artırır. Bu nedenle algılanan engeller ne kadar güçlü ise, bireyin davranış değişikliğine yönelik adım atması o kadar zorlaşır (Yengin, 2019).

Eyleme geçirici ipuçları

Eyleme geçirici ipuçları, bireyin bir davranış değişikliğini başlatmasını tetikleyen içsel veya dışsal uyarıcıları ifade eder. Dijital ekran bağımlılığı bağlamında bu ipuçları, bireyin ekran kullanımını azaltma kararını destekleyen hatırlatıcılar, uyarılar veya çevresel düzenlemeler şeklinde ortaya çıkabilir. Örneğin, telefonun ekran süresi bildirimleri, kullanım sınırı hatırlatmaları veya uyku saatine yaklaşınca gelen uyarılar bireyin farkındalığını artırarak davranış değişikliğini teşvik edebilir. Aile veya arkadaşlardan gelen geri bildirimler, sağlık profesyonellerinin önerileri ya da eğitim ortamlarında yapılan farkındalık çalışmaları da önemli dışsal ipuçları oluşturabilir. İçsel ipuçları ise bireyin yaşadığı fiziksel ve zihinsel belirtileri fark etmesiyle tetiklenebilir. Yorgunluk, gözlerde yanma veya odaklanma güçlüğü gibi sinyaller, kişinin ekran kullanımını sorgulamasına yardımcı olabilir. Bu ipuçları ne kadar belirgin olursa, davranış değişikliği başlatma olasılığı da o kadar artar (Erkmen ve Hazar 2023).

Öz-yeterlik

Öz-yeterlik, bireyin belirli bir davranışı gerçekleştirebilme kapasitesine olan inancını ifade eder. Dijital ekran bağımlılığı bağlamında bu kavram, kişinin ekran kullanımını kontrol edebileceğine, süreyi azaltabileceğine ve daha sağlıklı kullanım alışkanlıkları geliştirebileceğine dair kendine güvenini kapsar. Öz-yeterliği yüksek olan bireyler, ekran karşısında geçirdikleri zamanı düzenleme konusunda daha kararlı davranabilir ve karşılaştıkları zorlukları aşmak için daha fazla çaba gösterir. Buna karşılık öz-yeterliği düşük olan bireyler, ekran kullanımını sınırlamanın zor ya da imkânsız olduğunu düşünerek değişim girişimlerinden kolayca vazgeçebilir. Dijital ortamların cazip yapısı, bu kişilerin kontrol algısını daha da zayıflatabilir. Bu nedenle öz-yeterliğin güçlendirilmesi, dijital ekran bağımlılığını azaltmaya yönelik davranış değişikliği süreçlerinde kritik bir rol oynar. Bireyin kendine olan güveni arttıkça davranışı değiştirme olasılığı da yükselir (Güner ve ark., 2022).

Müdahale Yaklaşımlarının SİM Açısından Değerlendirilmesi

Dijital ekran bağımlılığını azaltmaya yönelik müdahale programlarının etkili olabilmesi için, bireylerin davranış değişim süreçlerini anlamaya yardımcı olan SİM'in temel bileşenlerinin dikkate alınması önemlidir. Bu model, bireylerin bir davranışı benimseme veya değiştirme kararlarını algıladıkları risk, fayda, engel ve öz-yeterlik düzeylerine göre şekillendirdiğini vurgular. Bu nedenle müdahale yaklaşımlarının, bireyin ekran kullanımına ilişkin bu algılarını yeniden yapılandırmayı hedeflemesi gerekir. Öncelikle algılanan duyarlılığı artırmayı amaçlayan farkındalık çalışmaları, bireyin aşırı ekran kullanımının yaratabileceği riskleri daha net görmesini sağlar. Eğitim programları, seminerler veya dijital sağlık atölyeleri aracılığıyla ekran bağımlılığının fiziksel, psikolojik ve sosyal etkileri hakkında bilgilendirme yapılması, risk algısının gelişmesine katkıda bulunur. Algılanan ciddiyetin güçlendirilmesi, bireyin bağımlılık davranışını daha önemli ve sonuçları ağır bir sorun olarak görmesine yardımcı olur. Gerçek yaşam örnekleri, kısa videolar veya uzman görüşleri aracılığıyla ekran bağımlılığının uzun vadeli etkilerinin gösterilmesi, bireyin davranışı değiştirme motivasyonunu artırabilir (Tokatlı ve Erdol, 2025).

Algılanan yararları öne çıkarmak, müdahalelerde önemli bir başka adımdır. Ekran süresinin azaltılmasının uyku kalitesini iyileştirmesi, sosyal ilişkileri güçlendirmesi ve zihinsel berraklığı ve dikkati artırması gibi olumlu sonuçların vurgulanması, bireyin değişimi benimsemesini kolaylaştırır. Bunun yanında algılanan engellerin azaltılması da kritik bir müdahale alanıdır. Zaman yönetimi becerilerinin desteklenmesi, alternatif etkinlik önerilmesi, iş ve okul süreçlerinin daha dengeli planlanması gibi stratejiler engelleri hafifletebilir. Öz-yeterliği güçlendirmeye yönelik çalışmalar, bireyin ekran kullanımını kontrol edebileceğine dair güven oluşturur. Küçük hedeflerin belirlenmesi, günlük tutulması, alışkanlık takip uygulamalarının

kullanılması ve sosyal destek sağlanması, öz-yeterlik hissini artırarak davranış değişikliğini sürdürülebilir kılar. Bu bütüncül yaklaşım, SİM'in yapısını müdahalelere entegre ederek dijital ekran bağımlılığıyla mücadelede etkili sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır (Ayar ve ark., 2023; Çelikkanat ve ark., 2024).

Sonuç

Dijital ekran bağımlılığı günümüzde hem çocuklar hem gençler hem de yetişkinler arasında giderek artan bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Teknolojik araçların hayatın her alanına nüfuz etmesi, bu araçların günlük yaşamın vazgeçilmezleri haline gelmesi, ekran kullanımının kontrol edilmesini zorlaştırmakta; bu durum fiziksel, psikolojik ve sosyal yaşam üzerinde çeşitli olumsuz etkiler yaratmaktadır. Sağlık İnanç Modeli, bireylerin ekran kullanımına ilişkin algılarını anlamaya ve davranış değişikliği için gerekli motivasyonun nasıl oluştuğunu değerlendirmeye yardımcı olan kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Modelin algılanan duyarlılık, ciddiyet, yarar, engeller, eyleme geçirici ipuçları ve öz-yeterlik gibi bileşenleri, ekran bağımlılığını önleme ve azaltmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesinde önemli yol göstericilerdir.

Bu bağlamda öneriler, öncelikle bireylerde farkındalığın artırılmasına odaklanmalıdır. Eğitim kurumlarında ve aile ortamlarında dijital okuryazarlık eğitimlerinin ve etkinliklerinin güçlendirilmesi, ekran kullanımının potansiyel risklerini görünür kılabilir. Ekran süresi sınırlandırmaları, dijital detoks uygulamaları ve alternatif sosyal etkinliklerin teşvik edilmesi, algılanan engelleri azaltarak davranış değişikliğini destekleyebilir. Ailelerin, öğretmenlerin ve sağlık profesyonellerinin iş birliği içinde olması, bireyin dijital davranışlarını daha sağlıklı bir yapıya dönüştürmesinde kritik bir rol oynar. Öz-yeterlik duygusunu güçlendirmeye yönelik hedef belirleme, davranış takibi ve ödüllendirme yöntemlerinin kullanılması, bireyin ekran kullanımını daha bilinçli yönetmesine katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak, dijital ekran bağımlılığıyla mücadelede bireysel farkındalık, sosyal destek ve davranışsal müdahalelerin bir arada uygulanması, sürdürülebilir ve etkili bir çözüm sunacaktır. SİM odaklı yaklaşımlar, hem önleme hem de müdahale süreçlerinde güçlü bir rehber niteliği taşımaktadır.

Kaynaklar

Çelikkanat, Ş., Özgüç, S., Kuşlu, S. (2024). Üniversite Öğrencilerinin Dijital Bağımlılık Düzeylerinin Üstbiliş ile İlişkisi. *Etkili Hemşirelik Dergisi*, *17*(2), 190-201.

Kırlıoğlu, M., Kayaalp, A., Arslan, S. (2023). Güncel bir sorun olarak çocuklarda ekran bağımlılığı ve ebeveyn tutumları. *Türkiye Sosyal Hizmet Araştırmaları Dergisi*, *7*(2), 118-131.

Yengin, D. (2019). Teknoloji Bağımlılığı Olarak Dijital Bağımlılık. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, *9*(2), 130-144.

Gözüm, S., Çapık, C. (2014). Sağlık davranışlarının geliştirilmesinde bir rehber: sağlık inanç modeli. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, *7*(3), 230-237.

Yüksel, R., Kocairi, C., Arslantaş, H., Söylemez, B. (2020). Ergenlerde İnternet Bağımlılığını Etkileyen Faktörler. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, *9*(1), 19-28.

Koral, F., Alptekin, K. (2023). Dijital Oyun Bağımlılığı: Bir Derleme Çalışması. *Karatay Sosyal Araştırmalar Dergisi*, (11), 283-308.

Elkin, N., Soydan, A. M. (2024). Halk Sağlığı Perspektifinden Çocuklarda Teknoloji Bağımlılığı ve Ekran Maruziyeti. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, *33*(4), 307-315.

Yengin, D. (2019). Teknoloji Bağımlılığı Olarak Dijital Bağımlılık. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, *9*(2), 130-144.

Güner, T. A., Demir, İ., Erdem, S. (2022). Üniversite öğrencilerinde sosyal medya bağımlılığı ile akademik öz yeterlik ve yalnızlık arasındaki ilişki ve etkileyen faktörler. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, *12*(3), 508-518.

Tokatlı, D., Erdol, T. A. (2025). Ortaokul Düzeyinde Dijital Bağımlılık Farkındalığı Programının Geliştirilmesine Yönelik İhtiyaç Analizi. *Bağımlılık Dergisi*, *26*(4), 431-450.

Ayar, H., Bulut, N., Gelici, Z. (2023). Erken çocuklukta dijital bağımlılıkla mücadele projesi kapsamında ebeveynlerin çocuklarının dijital medya kullanımına ilişkin görüşlerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, *25*(47), 1-33.

ÜRİNER İNKONTİNANSIN YAŞAM KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ, CERRAHİ TEDAVİSİ VE POSTOPERATİF HEMŞİRELİK YAKLAŞIMI

Irmak ŞAHİN

Yüksek Lisans Öğrencisi, Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Kadın Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Programı

irmaksahin0803@gmail.com - 0009-0003-6646-4027

Prof.Dr. Şenay ÜNSAL ATAN

Ege Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi Kadın Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı

senay.unsal.atan@gmail.com - 0000-0002-5119-5704

ÖZET

Amaç:Üriner inkontinans (Üİ), kadınlarda yaygın görülen ve fiziksel, psikolojik, sosyal ve cinsel yaşamı olumsuz etkileyerek yaşam kalitesinde belirgin azalmaya neden olan önemli bir sağlık sorunudur. Bu derleme niteliğindeki bildirinin amacı, kadınlarda üriner inkontinansın yaşam kalitesi üzerine etkilerini, cerrahi tedavi yaklaşımlarını ve cerrahi sonrası dönemde hemşirelik bakımının önemini literatür doğrultusunda değerlendirmektir. **Yöntem:** Bu çalışma, kadınlarda üriner inkontinansın yaşam kalitesi, cerrahi tedavisi ve postoperatif hemşirelik bakımına ilişkin literatürlerin incelenmesiyle hazırlanan derleme niteliğinde bir bildiridir. İnceleme kapsamında PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, CINAHL, Cochrane Library, TR Dizin ve DergiPark veri tabanlarında yayımlanan çalışmalar değerlendirilmiştir. **Bulgular:** Literatürde, üriner inkontinansın kadınların günlük yaşam aktivitelerini kısıtladığı, sosyal izolasyona, emosyonel sorunlara ve cinsel işlev bozukluklarına yol açarak yaşam kalitesini olumsuz etkilediği bildirilmektedir. Cerrahi tedavi seçenekleri arasında yer alan özellikle stres üriner inkontinans cerrahilerinin, semptomların azaltılmasında ve yaşam kalitesinin artırılmasında etkili olduğu gösterilmiştir. Cerrahi sonrası dönemde uygulanan bütüncül hemşirelik yaklaşımının; erken mobilizasyon, mesane eğitimi, pelvik taban kas egzersizleri, komplikasyonların önlenmesi ve hasta eğitimi yoluyla cerrahi başarıyı ve hasta memnuniyetini artırdığı vurgulanmaktadır. **Sonuç:** Kadınlarda üriner inkontinansın yönetiminde cerrahi tedavi önemli bir seçenek olmakla birlikte, yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde postoperatif hemşirelik bakımı temel bir bileşendir. Kanıta dayalı hemşirelik girişimlerinin bakım süreçlerine entegre edilmesi, cerrahi sonuçların sürdürülebilirliğini ve kadınların yaşam kalitesini olumlu yönde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Üriner inkontinans, kadın sağlığı, yaşam kalitesi, cerrahi tedavi, hemşirelik bakımı

THE IMPACT OF URINARY INCONTINENCE ON QUALITY OF LIFE, SURGICAL TREATMENT, AND POSTOPERATIVE NURSING APPROACH

ABSTRACT

Objective: Urinary incontinence (UI) is a common health problem among women and leads to significant impairments in physical, psychological, social, and sexual aspects of quality of life. This study is a review-type study aiming to evaluate the impact of urinary incontinence on quality of life, surgical treatment approaches, and the importance of postoperative nursing care in women based on the literature. **Methods:** This review-type study was prepared through the examination of the literature related to quality of life, surgical treatment, and postoperative nursing care in women with urinary incontinence. Relevant studies published in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, CINAHL, Cochrane Library, TR Index, and DergiPark databases were reviewed. **Results:** The literature indicates that urinary incontinence negatively affects women's quality of life by limiting daily activities and causing social isolation, emotional distress, and sexual dysfunction. Surgical interventions, particularly for stress urinary incontinence, have been shown to be effective in reducing symptoms and improving quality of life. A comprehensive postoperative nursing approach, including early mobilization, bladder training, pelvic floor muscle exercises, prevention of complications, and patient education, plays a crucial role in enhancing surgical outcomes. **Conclusion:** Although surgical treatment is an important option in the management of urinary incontinence in women, postoperative nursing care is a key component in improving quality of life and maintaining long-term treatment success. Integrating evidence-based nursing interventions into postoperative care may positively influence recovery and overall quality of life.

Keywords: Urinary incontinence, women's health, quality of life, surgical treatment, nursing care

1. Giriş

Üriner inkontinans, kişinin istemi dışında ortaya çıkan idrar kaçırma durumu olup, günlük yaşamda hijyenle ilgili sorunlara ve sosyal açıdan rahatsızlık verici sonuçlara yol açabilmektedir (World Health Organization, 2025). Bu durum, özellikle kadınlarda daha sık görülmekte ve yaşın ilerlemesiyle birlikte görülme sıklığında artış izlenmektedir. Toplum temelli araştırmalarda bildirilen prevalans oranları farklılık göstermekle birlikte, birinci basamak sağlık hizmetlerine başvuran kadınlarda yapılan güncel bir çalışmada üriner

inkontinans sıklığı %41,8 olarak belirlenmiştir (Yıldız & Ayrancı, 2024). Bu bulgu, üriner inkontinansın kadın sağlığı açısından yaygın ve göz ardı edilmemesi gereken bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır.

Üriner inkontinans, yalnızca bedensel bir yakınma olarak değerlendirilmemekte; bireyin günlük aktivitelerini sürdürme kapasitesini, psikolojik iyilik halini, sosyal etkileşimlerini ve genel yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyen çok boyutlu bir sorun olarak ele alınmaktadır (Akgün ve ark., 2010). Birçok kadın, utanma duygusu ve damgalanma endişesi nedeniyle bu durumu paylaşmaktan kaçınmakta ve profesyonel sağlık hizmetlerine başvurmayı geciktirmektedir (Demir & Kızılkaya Beji, 2015).

Son yıllarda geliştirilen cerrahi tedavi yöntemleri sayesinde, özellikle stres tipi üriner inkontinans başta olmak üzere farklı inkontinans türlerinde olumlu klinik sonuçlar elde edilmektedir (Ford ve ark., 2017). Ancak cerrahi girişimlerin başarısı yalnızca operasyonun kendisiyle sınırlı değildir. Ameliyat sonrası dönemde sunulan hemşirelik bakımının kapsamı ve kalitesi, tedavi sonuçlarının sürdürülebilirliği ve bireyin yaşam kalitesindeki iyileşme üzerinde belirleyici bir role sahiptir (Cici & Koçak, 2021).

2. Yöntem

Bu bildiri, kadınlarda üriner inkontinansın yaşam kalitesi üzerindeki yansımalarını, cerrahi tedavi uygulamalarını ve cerrahi sonrası dönemde hemşirelik bakımının rolünü ele alan yayınların bütüncül bir değerlendirilmesiyle oluşturulmuştur. Çalışma, derleme yaklaşımı temel alınarak hazırlanmıştır.

Literatür taraması kapsamında, 2008–2025 yılları arasında yayımlanmış ulusal ve uluslararası araştırma makaleleri, sistematik derlemeler ve klinik rehberler incelenmiştir. Değerlendirmeye alınan çalışmalar, kadın popülasyonunu kapsayan; yaşam kalitesi, cerrahi tedavi sonuçları ve hemşirelik bakımına ilişkin veriler sunan yayınlar arasından seçilmiştir.

3. Bulgular

3.1 Üriner İnkontinansın Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisi

Araştırmalar, üriner inkontinansın kadınların günlük yaşamlarını sürdürme biçimini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Fiziksel hareketlerden kaçınma, ev dışında geçirilen sürenin kısalması ve sosyal etkinliklere katılımın azalması, inkontinans yaşayan kadınlarda sık karşılaşılan durumlar arasında yer almaktadır (Yılmaz ve ark., 2014; Basak ve ark., 2013).

Psikolojik boyutta değerlendirildiğinde, üriner inkontinansın utanma duygusu, özgüvende azalma, kaygı ve depresif belirtilerle ilişkili olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalarda,

inkontinans yaşayan kadınların duygusal iyilik halinin olumsuz etkilendiği ve bu durumun yaşam kalitesi düzeylerinde düşüşe yol açtığı bildirilmektedir (Demir & Kızılkaya Beji, 2015). Benzer şekilde, üriner inkontinansın psikolojik yük oluşturduğu ve kadınların benlik algısını olumsuz yönde etkilediği vurgulanmaktadır (Gümüş ve ark., 2021).

Üriner inkontinansın sosyal ve cinsel yaşam üzerindeki etkileri de dikkat çekicidir. Bu durumun, cinsel ilişkiden kaçınma, cinsel doyumda azalma ve partnerle iletişimde güçlükler gibi sonuçlara yol açabildiği ifade edilmektedir (Gümüş ve ark., 2021). Güncel literatürde, kadınların yaşam kalitesini etkileyen faktörler arasında inkontinansın yalnızca fiziksel belirtilerle sınırlı kalmadığı; psikolojik ve sosyodemografik boyutlarıyla birlikte ele alınması gerektiği belirtilmektedir (Pilarska ve ark., 2025).

Sağlık arama davranışları incelendiğinde ise, birçok kadının üriner inkontinansı yaşlanmanın doğal bir parçası olarak algıladığı ve bu nedenle profesyonel sağlık hizmetlerine başvurmadığı görülmektedir. İdrar kaçırma semptomlarına rağmen sağlık kuruluşlarına başvurmayan kadın oranının yüksek olduğu ve bu durumun yaşam kalitesindeki olumsuz etkilerin devam etmesine neden olduğu bildirilmektedir (Mostafa ve ark., 2025).

3.2 Kadınlarda Üriner İnkotinansın Cerrahi Tedavisi

Kadınlarda üriner inkontinansın yönetiminde cerrahi tedavi, genellikle konservatif yöntemlerden yeterli yarar sağlanamayan, semptomları belirgin olan ve yaşam kalitesi ciddi düzeyde etkilenen olgularda gündeme gelmektedir. Cerrahiye karar verme sürecinde inkontinansın tipi, semptomların süresi ve şiddeti, hastanın yaşı, eşlik eden hastalıkları ve bireysel beklentileri dikkate alınmaktadır (Ford ve ark., 2017). Ayrıca cerrahi girişim öncesinde hastanın bilgilendirilmesi ve risk–yarar dengesinin değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Üriner inkontinansın cerrahi tedavisinde farklı teknikler uygulanmakta olup, bu girişimler pelvik taban ve üretral destek mekanizmalarının güçlendirilmesini amaçlamaktadır. Güncel literatürde mid-üretral sling yöntemleri en sık uygulanan cerrahi yaklaşımlar arasında yer almakta ve uzun dönem etkinlikleri birçok çalışmada gösterilmektedir (Ford ve ark., 2017). Bunun yanı sıra anatomik desteği yeniden sağlamayı hedefleyen farklı cerrahi tekniklerin de seçilmiş olgularda etkili olduğu bildirilmektedir. Son yıllarda yayımlanan çalışmalar, transvajinal yaklaşımlar ve destekleyici onarımların semptom kontrolü ve fonksiyonel sonuçlar açısından olumlu katkılar sağladığını ortaya koymaktadır (Xu ve ark., 2024).

Cerrahi tedavinin temel hedeflerinden biri yalnızca idrar kaçırma semptomlarını azaltmak değil, aynı zamanda kadınların yaşam kalitesini artırmaktır. Literatürde cerrahi girişim sonrası dönemde fiziksel aktivitelerde artış, sosyal katılımın güçlenmesi ve psikolojik iyilik halinde iyileşme bildirilmiştir (Gómez-Fernández ve ark., 2024). Ayrıca idrar kaçırmaya bağlı kaygı ve utanç duygularının azalması, kadınların günlük yaşamlarını daha bağımsız sürdürebilmelerine katkı sağlamaktadır. Bu bulgular, cerrahi tedavinin uygun hasta grubunda yaşam kalitesi üzerinde anlamlı ve kalıcı etkiler oluşturduğunu göstermektedir.

Cerrahi tedavinin başarısı; uygun hasta seçimi, doğru cerrahi teknik kullanımı ve cerrahi sonrası bakımın etkinliği ile yakından ilişkilidir. Literatürde, postoperatif dönemde komplikasyonların erken tanınması ve yönetilmesinin cerrahi sonuçları doğrudan etkilediği belirtilmektedir (Xu ve ark., 2024). Bu bağlamda cerrahi tedavi, yalnızca operatif girişimle sınırlı olmayıp, postoperatif bakım süreciyle birlikte değerlendirilmelidir.

3.3 Cerrahi Sonrası (Postoperatif) Hemşirelik Yaklaşımı

Üriner inkontinans nedeniyle cerrahi girişim uygulanan kadınlarda ameliyat sonrası dönem, elde edilen tedavi sonuçlarının korunması ve yaşam kalitesindeki iyileşmenin sürdürülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte verilen hemşirelik bakımı, yalnızca fiziksel iyileşmenin izlenmesini değil; aynı zamanda bireyin günlük işlevselliğinin desteklenmesini ve öz bakım yeterliliğinin güçlendirilmesini de kapsamaktadır (Cici & Koçak, 2021).

Cerrahi girişim sonrasındaki erken dönemde hemşirelik bakımının öncelikli hedefi, olası komplikasyonların zamanında fark edilmesi ve önlenmesidir. Bu doğrultuda vital bulguların düzenli aralıklarla izlenmesi, ağrı düzeyinin değerlendirilmesi ve cerrahi alanın dikkatli biçimde kontrol edilmesi temel bakım uygulamaları arasında yer almaktadır (Cici & Koçak, 2021). Özellikle üriner sistem cerrahileri sonrasında enfeksiyon, kanama ve üriner retansiyon gibi komplikasyonlara yönelik yakın takip yapılmasının gerekli olduğu vurgulanmaktadır (Festen ve ark., 2008).

Ameliyat sonrası dönemde mesane fonksiyonlarının izlenmesi ve uygun şekilde yönetilmesi, hemşirelik bakımının temel unsurlarından birini oluşturmaktadır. İdrar sondası bulunan kadınlarda, sonda bakımının doğru tekniklerle yapılması, idrar miktarının ve özelliklerinin takip edilmesi ile enfeksiyon riskinin en aza indirilmesi öncelikli hedefler arasında yer almaktadır (Festen ve ark., 2008). Sonda çıkarıldıktan sonra ise mesanenin dolum ve boşaltım düzeninin değerlendirilmesi, normal işeme alışkanlıklarının yeniden kazanılmasının desteklenmesi açısından önem taşımaktadır (World Health Organization, 2025).

Pelvik taban kaslarına yönelik egzersizler, cerrahi girişim sonrası dönemde semptom kontrolünün devamlılığını sağlamada etkili bir tamamlayıcı yöntem olarak kabul edilmektedir. Yapılan çalışmalarda, cerrahi tedaviyi takiben pelvik taban kas gücünü artırmaya yönelik egzersiz programlarının idrar kaçırma semptomlarını azalttığı ve fonksiyonel iyileşmeyi desteklediği gösterilmektedir (Dumoulin ve ark., 2014). Bu süreçte hemşireler, egzersizlerin doğru biçimde öğretilmesi, düzenli uygulanmasının sağlanması ve bireyin motivasyonunun artırılmasında rehberlik edici bir rol üstlenmektedir.

Ameliyat sonrası bakım sürecinde hasta eğitimi, hemşirelik bakımının ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Kadınlara cerrahi sonrası dönemde dikkat edilmesi gereken uygulamalar, mesane sağlığını destekleyen davranışlar ve pelvik taban kas egzersizlerinin önemi hakkında bilgi verilmesi, tedavi sürecine uyumu güçlendirmektedir (Cici & Koçak,

2021). Bunun yanı sıra, bireyin öz bakım sürecine aktif katılımının teşvik edilmesi, yaşam kalitesinin artırılmasına önemli katkılar sağlamaktadır (World Health Organization, 2025).

4.SONUÇ

Üriner inkontinans, kadınların yaşam kalitesini fiziksel, psikolojik ve sosyal boyutlarıyla etkileyen önemli bir sağlık sorunudur. Literatür bulguları, bu durumun günlük yaşam aktivitelerini sınırladığını, sosyal izolasyona ve duygusal yüklenmeye neden olduğunu göstermektedir. Özellikle stres tipi üriner inkontinans için uygulanan cerrahi tedaviler, semptomların kontrol altına alınmasında ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde etkili bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Cerrahi tedavinin başarısı yalnızca uygulanan tekniğe değil, cerrahi sonrası süreçte sunulan bakımın kalitesine de bağlıdır. Postoperatif dönemde planlanan kanıta dayalı hemşirelik yaklaşımları; komplikasyonların önlenmesi, mesane fonksiyonlarının desteklenmesi, pelvik taban kaslarının güçlendirilmesi ve bireyin öz bakım becerilerinin geliştirilmesi açısından kritik bir role sahiptir. Bu doğrultuda, cerrahi tedavi ve hemşirelik bakımının bütüncül bir yaklaşımla ele alınması, kadınların yaşam kalitesinin sürdürülebilir şekilde artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, kadınlarda üriner inkontinansın yönetiminde multidisipliner yaklaşımın benimsenmesi ve kanıta dayalı uygulamaların bakım süreçlerine entegre edilmesi, hem tedavi başarısını hem de hasta memnuniyetini artıran temel unsurlar arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

Akgün, G., Süt, N., & Balkanlı Kaplan, P. (2010). Kırk yaş üzeri kadınlarda üriner inkontinans sıklığı ve yaşam kalitesi üzerine etkileri [Prevalence of the urinary incontinence in women older than 40 years and influence of their QoL]. Turkiye Klinikleri Journal of Gynecology and Obstetrics, 20(6), 378-386.

Basak, T., Kok, G., Guvenc, G., & Prevalence Study Group. (2013). The effect of urinary incontinence on quality of life in women. Journal of Clinical Nursing, 26(7–8), 1061–1070. https://doi.org/10.1111/inr.12048

Cici, R., & Koçak, D. Y. (2021). Üriner inkontinansta hemşirelik yaklaşımı. Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi, 24(2), 245–252.

Demir, S., & Kızılkaya Beji, N. (2015). Quality of life and health-seeking behaviors of women with urinary incontinence. Florence Nightingale Journal of Nursing, 23(1), 23–31.

Dumoulin, C., Hay-Smith, E. J. C., & Mac Habée-Séguin, G. (2014). Pelvic floor muscle training versus no treatment for urinary incontinence in women. Cochrane Database of Systematic Reviews, (5), CD005654. DOI: 10.1002/14651858.CD005654.pub3

Ford, A. A., Rogerson, L., Cody, J. D., & Ogah, J. (2017). Mid-urethral sling operations for stress urinary incontinence in women. Cochrane Database of Systematic Reviews, (7), CD006375. DOI: 10.1002/14651858.CD006375.pub4

Gómez-Fernández, C., et al. (2024). Quality of life following transobturator sling surgery for female stress urinary incontinence. Urología Clínica, 33(2), 87–94. DOI: 10.1016/j.acuroe.2024.06.001

Gümüş, G., Kaya, C., & Aydın, S. (2021). The effects of urinary incontinence on quality of life and sexual function in women. Gülhane Medical Journal, 63(2), 89–96. DOI: 10.4274/gulhane.galenos.2021.35744

Mostafa, D. A., Ahmed, H. I., & Mohamed, W. A. (2025). Women's knowledge and practices regarding urinary incontinence. BMC Public Health, 25, 3812. DOI: 10.1186/s12889-025-25067-z

Nakayama, N., Yamaguchi, S., & Kato, H. (2020). Urinary incontinence after gynecologic cancer surgery and quality of life. BMC Women's Health, 20(1), 145.

Pelvic floor muscle training with or without biofeedback. (2022). International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(5), 2789. DOI: 10.3390/ijerph19052789

Pilarska, B., Strojek, K., Radzimińska, A., Weber-Rajek, M., & Jarzemski, P. (2025). Assessing quality of life among women with urinary incontinence: Medical, psychological, and sociodemographic determinants. Journal of Clinical Medicine, 14(14), 4839. DOI: 10.3390/jcm14144839

Festen, L. , Duggan, P. , & Coates, D.. (2008) . Improved quality of life in women treated for urinary incontinence by an authorised continence nurse practitioner. International Urogynecology Journal , 19 , 567–571 .. DOI: 10.1007/s00192-007-0468-8

Xu, Y., Wei, L., Liu, M., et al. (2024). Transvaginal posterior levatorplasty and perineoplasty for female primary stress urinary incontinence: 12-month follow-up and technical presentation. BMC Urology, 24, 235. DOI: 10.1186/s12894-024-01604-7

Yıldız, M. S., & Ayrancı, Ü. (2024). The prevalence of urinary incontinence and associated factors in adult women in primary care. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 2(3), 159–171. https://doi.org/10.61535/bseusbfd.1430443

World Health Organization. (2025). Urinary incontinence: Integrated care for older people (ICOPE) training programme, module 16. World Health Organization.

POSTMENOPOZAL DÖNEMDE ÜRİNER İNKONTİNANSI ÖNLEME VE KORUMA: Yaşam Tarzı Değişiklikleri ve Davranışsal Yaklaşımlar

Nur Efşan KARAKILIÇ

Yüksek lisans Öğrencisi, Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Kadın Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Programı

nur1efsan@gmail.com, 0009-0006-5631-9899

Prof. Dr. Şenay ÜNSAL ATAN

Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Kadın Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı

senay.unsal.atan@ege.edu.tr, 0000-0002-5119-5704

ÖZET

Amaç: Postmenopozal dönemde üriner inkontinans (Üİ) sık görülür ve yaşam kalitesini belirgin biçimde olumsuz etkileyen bir sorundur. Bu bildiri, postmenopozal kadınlarda Üİ'nin önlenmesi ve korunmasına yönelik uygulanabilir konservatif yaklaşımları özetlemeyi amaçlamaktadır. **Yöntem:** Derleme niteliğindeki bu çalışma; PubMed, Cochrane Library ve uluslararası klinik kılavuz veri tabanlarının taranmasıyla oluşturulmuştur. Literatür sentezine; Avrupa Üroloji Derneği ve Uluslararası Kontinans Derneği tarafından yayımlanan güncel yönetim kılavuzları, Women's Health Initiative (WHI) gözlemsel çalışması, sistematik derlemeler ve davranışsal tedavi protokollerini içeren çalışmalar dahil edilmiştir. **Bulgular:** Postmenopozal dönemde Üİ ve diğer alt üriner sistem semptomlarının arttığı; 60 yaş üzeri kadınlarda görülme oranının yaklaşık %38–55 aralığında değiştiği ve postmenopozal kadınların yarısından fazlasını etkileyebildiği bildirilmektedir. Pelvik taban kas eğitimi (PTKE), özellikle stres ve miks Üİ'de semptomlarını azaltabilen etkili bir konservatif yöntemdir. Urgency veya miks Üİ'de en az 6 haftalık mesane eğitimi önerilirken, overaktif mesane semptomlarında kafein alımını azaltmaya yönelik bir deneme yapılması önerilmektedir. Fiziksel aktivite düzeyi daha yüksek olan postmenopozal kadınlarda yeni gelişen urgency ve miks Üİ riskinin daha düşük olduğu; buna karşılık yüksek protein alımının urgency Üİ riskini artırabileceği bildirilmiştir. Genitoüriner menopoz belirtileriyle birlikte aşırı aktif mesane semptomları yaşayan kadınlar için vajinal östrojen kullanımı da önemli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. **Sonuç:** Postmenopozal dönemde Üİ'yi önlemek adına, pelvik taban kas egzersizleri, mesane eğitimi, fiziksel aktivite düzeyinin artırılması ve kafein tüketiminin düzenlenmesi gibi yaşam tarzı değişikliklerinin birlikte ele alınması, bütüncül bir koruma yaklaşımı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Üriner inkontinans, Postmenopozal dönem, Pelvik taban kas eğitimi

PREVENTION AND PROTECTION OF URINARY INCONTINENCE IN THE POSTMENOPAUSAL PERIOD: Lifestyle Changes, and Behavioral Approaches

ABSTRACT

Objective: Urinary incontinence (UI) is common in the postmenopausal period and is a problem that markedly impairs quality of life. This paper aims to summarize practical, conservative approaches for the prevention of UI and protective strategies in postmenopausal women.

Methods: This narrative review was developed through searches of PubMed, the Cochrane Library, and international clinical guideline databases. The literature synthesis included up-to-date management guidelines published by the European Association of Urology (EAU) and the International Continence Society (ICS), the Women's Health Initiative (WHI) observational study, systematic reviews, and studies describing behavioral treatment protocols.

Results: UI and other lower urinary tract symptoms increase during the postmenopausal period; the prevalence among women older than 60 years is reported to range approximately between 38% and 55% and may affect more than half of postmenopausal women. Pelvic floor muscle training (PFMT) is an effective conservative method that can reduce symptoms, particularly in stress and mixed UI. For urgency or mixed UI, at least 6 weeks of bladder training is recommended, while a trial aimed at reducing caffeine intake is suggested for overactive bladder symptoms. Higher levels of physical activity in postmenopausal women are associated with a lower risk of newly developed urgency and mixed UI; in contrast, high protein intake may increase the risk of urgency UI. Vaginal estrogen is also highlighted as an important option for women experiencing overactive bladder symptoms along with genitourinary symptoms of menopause.

Conclusion: To prevent UI in the postmenopausal period, adopting a comprehensive protective approach that integrates pelvic floor muscle exercises, bladder training, increased physical activity, and regulation of caffeine consumption offers a holistic strategy.

Keywords: Urinary incontinence, postmenopause, Pelvic Floor Muscle Training

1. GİRİŞ

Menopoz, over fonksiyonlarının kademeli olarak azalmasına bağlı biçimde adet döngüsünün kalıcı olarak sona erdiği ve en az 12 ay amenore ile tanımlanan doğal bir süreçtir. Bu dönemde östrojen düzeylerindeki azalma; vulvovajinal atrofi, alt üriner sistem semptomları (AÜSS) ve genitoüriner menopoz sendromu (GMS) gibi yakınmalara yol açabilir (World Health Organization, 2024; The NAMS 2020 GSM Position Statement Editorial Panel, 2020).

Üriner inkontinans (Üİ), Uluslararası Kontinans Derneği (International Continence Society, ICS) tarafından bireyin istemi dışında idrarını tutamaması olarak tanımlanmaktadır. Klinik pratikte Üİ genellikle üç alt tipte ele alınır: stres tipi üriner inkontinans (SÜİ), sıkışma (urgency) tipi üriner inkontinans (UÜİ) ve her iki tipin birlikte görüldüğü miks üriner inkontinans (MÜİ). Değişiklikler dönemde östrojen eksikliği ve yaşa bağlı fizyolojik değişiklikler, Üİ'nin yanı sıra diğer AÜSS'nin de daha sık görülmesine neden olur. 60 yaş üzerindeki kadınlarda bildirilen

prevalansın %38 ile %55 arasında değiştiği belirtilmektedir (World Health Organization, 2024; Abrams et al., 2002; Nambiar et al., 2018; O'Connor et al., 2021).

Üİ yalnızca fiziksel bir belirti olarak görülmemeli; kadınların sosyal ve iş yaşamını, cinsel sağlığını, uyku düzenini ve genel psikolojik iyilik hâlini olumsuz etkileyen çok boyutlu bir sorun olarak ele alınmalıdır. Damgalanma ve utanç duygusu, birçok kadının semptomlarını paylaşmamasına ya da sağlık hizmeti arayışını ertelemesine yol açabilmektedir. Bu nedenle Üİ'nin önlenmesi, erken tanılanması ve düşük riskli konservatif yaklaşımların yaygınlaştırılması, kadın sağlığı hemşireliği bakımında önem taşımaktadır.

2. YÖNTEM

Çalışma, derleme niteliğindedir. Literatür taraması, ağırlıklı olarak PubMed ve Cochrane Library gibi uluslararası bilimsel veri tabanlarında ve güncel klinik kılavuz platformlarında gerçekleştirilmiştir. Taramada kullanılan anahtar kelimeler arasında; "postmenopause", "urinary incontinence", "overactive bladder", "pelvic floor muscle training", "bladder training", "lifestyle modification", "caffeine", "physical activity" ve "vaginal estrogen" terimlerinin yanı sıra, bu kavramların Türkçe karşılıkları da yer almıştır (National Institute for Health and Care Excellence, 2019, 2021; European Association of Urology, 2025).

Literatür sentezine; Avrupa Üroloji Derneği (*European Association of Urology, EAU*) ve Uluslararası Kontinans Derneği (*International Continence Society, ICS*) tarafından yayımlanan güncel yönetim kılavuzları, Kadın Sağlığı Girişimi (*Women's Health Initiative, WHI*) gözlemsel çalışmasına dayalı analizler, sistematik derlemeler ve davranışsal tedavi protokollerini içeren çalışmalar dahil edilmiştir. Konu kapsamı; postmenopoz döneminde görülen Üİ tipleri, risk faktörleri ve birincil/ikincil korunma basamağında uygulanabilen konservatif yaklaşımlarla sınırlandırılmıştır (World Health Organization, 2024; Bauer et al., 2021).

Bu bağlamda çalışma, mevcut bilimsel kanıtları klinik uygulamaya aktarılabilir biçimde özetlemeyi ve postmenopozal dönemde Üİ'nin önlenmesine yönelik temel yaklaşımları bütüncül bir perspektif içinde sunmayı amaçlamaktadır.

3. BULGULAR

3.1. Postmenopozal Dönemde Üİ'nin Artışına Katkıda Bulunan Mekanizmalar

Postmenopozal dönemde Üİ'ye zemin hazırlayan mekanizmalar çok faktörlüdür. Yaşlanma ile kas kütlesinde ve bağ dokusunda görülen azalmalar, pelvik taban desteğinin zayıflaması, mesane kapasitesindeki değişiklikler ve detrusor kas fonksiyonlarında meydana gelen bozulmalar; bu dönemdeki idrar kaçırma sorununa katkı sunan başlıca etkenler arasında yer alır. Ayrıca, östrojen düzeylerindeki düşüşe bağlı olarak gelişen ürogenital atrofi, üriner sistem sağlığını doğrudan etkilemektedir. Özellikle üretra ve vajina epitellerinde meydana gelen incelme, kanlanmanın azalması ve kolajen yapısındaki bozulmalar, üretral kapanma basıncında

azalmaya ve irritatif semptomlarda artışa neden olabilir (World Health Organization, 2024; Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025).

GMS kapsamında görülen vajinal kuruluk, yanma, disparoni ve tekrarlayan idrar yolu enfeksiyonları gibi bulgular; sıkışma, gündüz/gece sık idrara çıkma ve ani sıkışma hissi yakınmalarının şiddetini artırabilir. Bu nedenle, Üİ'nin değerlendirilmesi yalnızca kaçırma sıklığına odaklanmakla sınırlı kalmamalı; eşlik eden GMS belirtileri ve diğer AÜSS bulguları da dikkate alınmalıdır (The NAMS 2020 GSM Position Statement Editorial Panel, 2020)

3.2. Risk Faktörleri ve Değiştirilebilir Etmenler

Üriner inkontinansın gelişiminde rol oynayan risk faktörleri çok boyutludur; biyolojik etmenlerin yanı sıra yaşam tarzı ile ilişkili faktörler de sürece katkı sağlar. Literatürde ileri yaş, multiparite, vajinal doğum öyküsü, obezite, pelvik organ prolapsusu, kronik öksürük (örneğin KOAH'a bağlı), konstipasyon, diyabet ve bazı nörolojik hastalıklar Üİ için başlıca risk faktörleri arasında tanımlanmaktadır. Ayrıca diüretikler ve sedatifler gibi bazı ilaçların kullanımı, hareket kısıtlılığı ve bilişsel işlevlerdeki bozulmalar da kontinansın sürdürülmesini güçleştirebilir (European Association of Urology, 2025; Nambiar et al., 2018; O'Connor et al., 2021).

Koruyucu yaklaşımların temel hedefi, risk faktörleri içinde özellikle değiştirilebilir olanlara odaklanarak etkili müdahale stratejileri geliştirmektir. Bu kapsamda vücut ağırlığının dengelenmesi, düzenli fiziksel aktivitenin teşvik edilmesi, kafein tüketiminin sınırlandırılması, konstipasyonun önlenmesi ve yeterli sıvı alımının sağlanması gibi yaşam tarzı temelli uygulamalar; birincil sağlık hizmetleri düzeyinde kolay uygulanabilen, maliyet-etkin ve erişilebilir stratejiler sunar.

Amerikan Ürojinekoloji Derneği (American Urogynecologic Society, AUGS) tarafından yayımlanan sistematik derleme, diyet ve egzersiz gibi davranışsal kilo kaybı müdahalelerinin 1–2,9 yıllık izlemde SÜİ prevalansını %15–18, toplam Üİ prevalansını ise %12–17 azaltabildiğine dair yüksek kesinlikte kanıt olduğunu göstermektedir. Buna karşılık UÜİ ve aşırı aktif mesane (AAM) semptomları üzerindeki etki için kanıt düzeyi orta-düşük olarak rapor edilmiştir (Yazdany et al., 2020). WHI gözlemsel çalışmasına dayalı analizlerde ise fiziksel aktivite düzeyi daha yüksek olan postmenopozal kadınlarda yeni gelişen UÜİ ve MÜİ riskinin daha düşük olduğu; buna karşılık yüksek protein alımının UÜİ riskini artırabileceği bildirilmiştir (World Health Organization, 2024; Park et al., 2023; European Association of Urology, 2025; Bauer et al., 2021).

3.3. Pelvik Taban Kas Eğitimi

Pelvik taban kas eğitimi (PTKE), postmenopozal dönemde Üİ'nin önlenmesi ve mevcut semptomların hafifletilmesinde ilk basamak konservatif yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Özellikle SÜİ ve MÜİ'de pelvik taban kaslarının güç, dayanıklılık ve koordinasyonunun artırılması; üretral destek mekanizmasını güçlendirerek idrar kaçırma ataklarının sıklığını azaltabilir (World Health Organization, 2024; Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025).

Yapılan sistematik derlemeler, PTKE'nin SÜİ için tam iyileşme ("kür") ya da anlamlı düzeyde iyileşme sağlama olasılığını artırdığını ve kaçırma sıklığını azalttığını göstermektedir. Klinik

kılavuzlar, bu eğitimin mümkün olduğunca yoğun, tercihen bu alanda eğitimli bir sağlık profesyoneli (örneğin fizyoterapist veya hemşire) eşliğinde ve en az üç ay süreyle uygulanmasını önermektedir (Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025).

PTKE programlarının içeriğinde; doğru kas grubunun tanımlanması ve izole edilmesi, hızlı ve yavaş kasılan kas liflerini hedefleyen egzersizlerin tekrarlanması, günlük yaşam aktivitelerine entegre uygulamalar (örneğin öksürmeden ya da ani hareketlerden önce kasları sıkmak) ve düzenli takip yer alır. Biyogeribildirim, vajinal konlar veya mobil uygulamalar gibi yardımcı araçlar, motivasyonu artırma ve egzersizlerin doğru yapılmasını destekleme açısından faydalı olabilir. Bununla birlikte bu araçların kullanımı bireysel tercihler, erişilebilirlik ve klinik değerlendirme sonuçları doğrultusunda planlanmalıdır (Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025).

3.4. Mesane Eğitimi ve Davranışsal Müdahaleler

Mesane eğitimi, özellikle UÜİ ve MÜİ'de önerilen temel davranışsal müdahaleler arasında yer almaktadır. Bu yaklaşım; bireyin başlangıçtaki işeme sıklığının idrar günlüğü ile belirlenmesi, planlı işeme aralıklarının aşamalı olarak uzatılması, sıkışma hissi esnasında "sıkışma hissini bastırma" stratejilerinin öğretilmesi ve semptomları tetikleyen faktörlerin tanımlanarak yönetilmesini içermektedir (National Institute for Health and Care Excellence, 2019, 2021; European Association of Urology, 2025).

Uluslararası kılavuzlar, UÜİ ya da MÜİ semptomları yaşayan kadınlarda mesane eğitiminin ilk basamak tedavi olarak uygulanmasını ve eğitimin en az altı hafta sürdürülmesini önermektedir. Ayrıca, mesane eğitiminin PTKE ile uygulanması durumunda MÜİ semptomlarının yönetiminde ilave yararlar sağlayabileceği bildirilmektedir (Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025; National Institute for Health and Care Excellence, 2019, 2021).

Bilişsel bozukluğu bulunan ya da düzenli bakım desteğine ihtiyaç duyan kadınlarda ise, hatırlatmalı işeme ve planlı tuvalet programları gibi destekleyici davranışsal müdahaleler, inkontinans epizotlarının azaltılmasında etkili stratejiler olarak kullanılabilir.

3.5. Yaşam Tarzı Değişiklikleri

3.5.1. Vücut Ağırlığı ve Kilo Yönetimi

Obezite, Üİ açısından önemli ve değiştirilebilir bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir. Artan intraabdominal basınç, pelvik taban yapıları üzerinde ek yük oluşturarak, özellikle SÜİ'yi tetikleyebilmektedir (Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025; Yazdany et al., 2020).

AUGS tarafından yürütülen sistematik bir derlemeye göre, diyet ve fiziksel aktivite temelli davranışsal kilo kaybı müdahaleleri, aşırı kilolu veya obez kadınlarda 1 ila 2,9 yıllık izlem sürecinde SÜİ prevalansında %15–18, toplam Üİ prevalansında ise %12–17 oranında azalma ile ilişkilendirilmiştir. Derlemede stres tipi ve toplam Üİ için kanıt düzeyi yüksek olarak bildirilirken; UÜİ ve AAM semptomları için kanıt düzeyi orta ile düşük arasında değişmektedir.

Bu bulgular doğrultusunda, kilo yönetimi stratejileri postmenopozal dönemde hem stres tipi Üİ'nin önlenmesinde hem de genel korunma yaklaşımları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır (World Health Organization, 2024; Yazdany et al., 2020).

3.5.2. Fiziksel Aktivite

Düzenli fiziksel aktivite, kilo kontrolü, kas-iskelet sistemi sağlığı ve genel yaşam kalitesine katkı sağlayarak kontinansın korunmasına dolaylı yoldan destek olabilir. WHI gözlemsel verileri, daha yüksek düzeyde fiziksel aktivite ile özellikle yeni başlayan UÜİ ve MÜİ riskinin azalabileceğini göstermektedir (Bauer et al., 2021).

Ancak, yüksek etkili fiziksel aktiviteler—örneğin zıplama ya da ani yön değiştirme içeren egzersizler—pelvik taban kasları üzerine aşırı yük bindirerek bazı bireylerde semptomları kötüleştirebilir. Bu nedenle egzersiz türü; kişinin mevcut Üİ tipi, pelvik taban fonksiyonel durumu, eşlik eden sağlık sorunları ve genel fiziksel kapasitesi dikkate alınarak bireyselleştirilmelidir. Genellikle orta şiddette yürüyüş, düşük etkili aerobik egzersizler ve kas güçlendirici çalışmalar, çoğu kadın için güvenli ve sürdürülebilir seçenekler arasında değerlendirilmektedir (Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025).

3.5.3. Sıvı Alımı ve Kafein Tüketimi

AAM semptomları üzerinde kafein alımının olumsuz etkileri olabileceği bilinmektedir. Kafein, mesane duvarında irritatif etki yaratmasının yanı sıra diüretik özellikleri nedeniyle sıkışma hissini ve işeme sıklığını artırabilir. Bu nedenle, güncel klinik kılavuzlar, AAM semptomları bulunan bireylerde kafein tüketiminin azaltılmasını içeren bir deneme sürecinin uygulanmasını önermektedir (Park et al., 2023; European Association of Urology, 2025; Cameron et al., 2024).

Son yıllarda yayımlanan sistematik derlemeler, kafein kısıtlamasının sıkışma hissi ve gündüz işeme sıklığı gibi semptomlarda anlamlı iyileşmeler sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Öte yandan, sıvı alımının aşırı düzeyde sınırlandırılmasının her zaman ek bir yarar sağlamadığı da vurgulanmaktadır. Bu bağlamda klinik uygulamada temel hedef, sıvı tüketimini tamamen azaltmak değil; gün içine dengeli şekilde yaymak, özellikle gece saatlerindeki sıvı alımını düzenlemek ve bireyin semptomlarını tetikleyen özgül faktörleri belirleyerek yönetmektir (Park et al., 2023; European Association of Urology, 2025).

3.5.4. Beslenme Örüntüsü ve Bağırsak Sağlığı

Beslenme örüntüsü hem vücut ağırlığını hem de mesane üzerinde irritan etkiler yaratabilecek içerikleri etkileyerek Üİ semptomlarıyla ilişkilendirilmektedir. WHI kapsamında yapılan analizlerde, yüksek protein alımının UÜİ riskini artırabileceği bildirilmiştir. Ancak bu bulgu, protein tüketiminin doğrudan zararlı olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır. Bunun yerine, bireysel enerji dengesi, toplam kalori alımı, böbrek fonksiyonları ve kişisel metabolik ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak beslenme planlaması yapılması gerekmektedir (Bauer et al., 2021).

Öte yandan, konstipasyon, pelvik taban üzerindeki basıncı artırarak hem SÜİ hem de UÜİ şiddetlendirebilir. Bu nedenle, yeterli sıvı alımını destekleyen, lif açısından zengin bir beslenme düzeni ile düzenli fiziksel aktivite; bağırsak hareketliliğini teşvik ederek gastrointestinal sağlığı korumakta ve dolaylı olarak kontinansın sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025; Bauer et al., 2021).

3.5.5. Sigara, Öksürük ve Diğer Yaşam Tarzı Etmenleri

Sigara kullanımı, pelvik taban sağlığını doğrudan etkilemese de kronik öksürük, bağ dokusu üzerine olumsuz etkiler ve genel sağlık durumundaki bozulmalar yoluyla dolaylı olarak

olumsuz sonuçlar doğurabilir. Özellikle kronik öksürük ve ağır yük kaldırma gibi intraabdominal basıncı artıran durumlar, pelvik taban kasları üzerinde fazladan yük oluşturarak üriner inkontinans riskini artırabilir. Bu nedenle pelvik tabanın korunmasına yönelik uygun vücut mekaniği ve ergonomi ilkelerinin uygulanması önem taşımaktadır (Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025).

Bununla birlikte, uyku düzeninin sağlanması, stres yönetimi stratejilerinin uygulanması ve sağlıklı tuvalet alışkanlıklarının geliştirilmesi (örneğin uzun süre idrar tutmaktan kaçınmak ve gereksiz "önlem amaçlı" tuvalete gitme davranışlarını sınırlamak) davranışsal müdahale programlarının tamamlayıcı bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Bu yaşam tarzı düzenlemeleri, konservatif tedavi yaklaşımlarının etkinliğini artırmada destekleyici rol oynayabilir.

3.6. Vajinal Östrojen ve Genitoüriner Menopoz Sendromu

Postmenopozal dönemde GMS bulgularıyla birlikte AAM veya sıkışma tipi üriner semptomlar yaşayan kadınlarda lokal (vajinal) östrojen tedavisi, ulusal ve uluslararası klinik kılavuzlarda önerilen başlıca tedavi seçeneklerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Lokal östrojen uygulamaları, vajinal epitelizasyonu ve doku trofizmini destekleyerek irritatif AÜSS'nin hafifletilmesine katkı sağlayabilir. Bu kapsamda yapılan sistematik derlemeler, vajinal östrojenin dizüri ve işeme sıklığı gibi yakınmalarda anlamlı iyileşme sağladığını; ayrıca sıkışma ile ilişkili semptomlar, miks (sıkışma/stres) tipi inkontinans ve tekrarlayan idrar yolu enfeksiyonu riskinin azaltılmasında da etkili olabileceğini göstermektedir (World Health Organization, 2024; The NAMS 2020 GSM Position Statement Editorial Panel, 2020; Christmas et al., 2023; Cameron et al., 2024; European Association of Urology, 2025).

Öte yandan, sistemik menopozal hormon tedavisi (MHT), üriner inkontinansın önlenmesi ya da tedavisi amacıyla önerilmemektedir. Güncel bir sistematik derlemede, sistemik MHT'nin Üİ'yi başlatabileceği veya mevcut üriner semptomları kötüleştirebileceği bildirilmektedir (Christmas et al., 2023). Benzer şekilde, NAMS'ın 2022 tarihli hormon tedavisi pozisyon bildirimi de sistemik östrojen tedavisi (ET) ve östrojen-progesteron kombinasyon tedavisinin (EPT) nadir de olsa Üİ riskinde artışla ilişkili olabileceğini vurgulamaktadır.

Bu nedenle sistemik MHT uygulama kararı; esas endikasyonlar (örneğin vazomotor semptomlar, GMS), bireysel risk profili ve güncel klinik kılavuzlar dikkate alınarak, hekim değerlendirmesi doğrultusunda verilmelidir. Lokal östrojen tedavisi planlanırken de olası kontrendikasyonlar ve hasta tercihleri göz önünde bulundurulmalıdır (World Health Organization, 2024; Christmas et al., 2023; The North American Menopause Society [NAMS], 2022).

4. SONUÇ

Postmenopozal dönemde Üİ'nin önlenmesi ve yönetimi, yaşam tarzı değişiklikleri ile davranışsal müdahalelerin birlikte ele alındığı, multidisipliner ve bütüncül bir yaklaşımı gerektirir. Bu çerçevede; PTKE'nin (gerektiğinde biyogeribildirim, vajinal konlar veya dijital uygulamalarla desteklenmesi) düzenli ve sürdürülebilir biçimde uygulanması, UÜİ veya MÜİ'de en az altı haftalık mesane eğitimi (idrar günlüğü, planlı işeme aralıklarının kademeli

uzatılması ve sıkışma hissini baskılama stratejileri) ve gereksinim duyan bireylerde planlı tuvalet programları/hatırlatmalı işeme gibi davranışsal müdahaleler temel yaklaşımlardır. Buna ek olarak birincil korunma kapsamında kilo yönetimi ve vücut ağırlığının dengelenmesi, düzenli fiziksel aktivitenin artırılması (yüksek etkili egzersizler yerine düşük–orta etkili seçeneklerin tercih edilmesi), kafein tüketiminin azaltılması ve sıvı alımının tamamen kısıtlanmadan gün içine dengeli yayılması; beslenme açısından konstipasyonun önlenmesi için liften zengin beslenme, bağırsak sağlığının desteklenmesi ve bireysel risk profiline göre aşırı protein alımının gözden geçirilmesi; ayrıca sigaranın bırakılması, kronik öksürük/konstipasyon gibi intraabdominal basıncı artıran durumların yönetimi, ağır kaldırma gibi riskli durumlarda ergonomi ve doğru vücut mekaniğinin öğretilmesi, uyku–stres yönetimi ve sağlıklı tuvalet alışkanlıklarının kazandırılması (gereksiz "önlem amaçlı" tuvalete gitme davranışının sınırlandırılması gibi) koruyucu yaklaşımın tamamlayıcı bileşenleridir. GMS bulguları ile birlikte irritatif AÜSS veya AAM semptomları bulunan kadınlarda lokal (vajinal) östrojen uygun olgularda destekleyici bir seçenek olarak değerlendirilebilir; buna karşın sistemik MHT, Üİ'nin önlenmesi/tedavisi amacıyla önerilmemektedir (World Health Organization, 2024; Dumoulin et al., 2018; European Association of Urology, 2025; National Institute for Health and Care Excellence, 2019, 2021; Park et al., 2023; Bauer et al., 2021; Yazdany et al., 2020; The NAMS 2020 GSM Position Statement Editorial Panel, 2020; Christmas et al., 2023; Cameron et al., 2024).

GMS belirtileri ile AAM veya sıkışma yakınmaları bulunan kadınlarda, lokal (vajinal) östrojen tedavisi de semptomların kontrol altına alınmasında etkili, konservatif bir destekleyici seçenek olarak değerlendirilmektedir. Tüm bu müdahalelerin bireysel semptom profili, eşlik eden risk faktörleri ve kadının yaşam koşulları doğrultusunda kişiselleştirilerek planlanması, postmenopozal dönemde kontinansın korunmasına yönelik etkili ve sürdürülebilir bir çerçeve sunmaktadır (World Health Organization, 2024; The NAMS 2020 GSM Position Statement Editorial Panel, 2020; Cardozo et al., 2004; Cameron et al., 2024; European Association of Urology, 2025).

KAYNAKLAR:

Abrams, P., Cardozo, L., Fall, M., Griffiths, D., Rosier, P., Ulmsten, U., van Kerrebroeck, P., Victor, A., & Wein, A. (2002). The standardisation of terminology of lower urinary tract function: Report from the Standardisation Sub-committee of the International Continence Society. Neurourology and Urodynamics, 21(2), 167–178. https://doi.org/10.1002/nau.10052

Bauer, S. R., Kenfield, S. A., Sorensen, M., Subak, L. L., Phelan, S., Gupta, L. R., Chen, B., Suskind, A. M., Park, A. J., Iglesia, C., Gass, M., Hohensee, C., & Breyer, B. N. (2021). Physical activity, diet, and incident urinary incontinence in postmenopausal women: Women's Health Initiative Observational Study. The Journals of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences, 76(9), 1600–1607. https://doi.org/10.1093/gerona/glab118

Cameron, A. P., Chung, D. E., Dielubanza, E. J., Enemchukwu, E., Ginsberg, D. A., Helfand, B. T., Linder, B. J., Reynolds, W. S., Rovner, E. S., Souter, L., Suskind, A. M., Takacs, E., Welk, B., & Smith, A. L. (2024). The AUA/SUFU guideline on the diagnosis and treatment of idiopathic overactive bladder. The Journal of Urology, 212(1), 11–20. https://doi.org/10.1097/JU.0000000000003985

Cardozo, L., Lose, G., McClish, D., & Versi, E. (2004). A systematic review of the effects of estrogens for symptoms suggestive of overactive bladder. Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica, 83(10), 892–897. https://doi.org/10.1111/j.0001-6349.2004.00581.x

Christmas, M. M., Iyer, S., Daisy, C., Maristany, S., Letko, J., & Hickey, M. (2023). Menopause hormone therapy and urinary symptoms: A systematic review. Menopause, 30(6), 672–685. https://doi.org/10.1097/GME.0000000000002187

Dumoulin, C., Cacciari, L. P., & Hay-Smith, E. J. C. (2018). Pelvic floor muscle training versus no treatment, or inactive control treatments, for urinary incontinence in women. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2018(10), CD005654. https://doi.org/10.1002/14651858.CD005654.pub4

European Association of Urology. (2025). Management of non-neurogenic female lower urinary tract symptoms (LUTS): EAU guidelines (Limited text update March 2025). https://d56bochluxqnz.cloudfront.net/documents/full-guideline/EAU-Guidelines-on-Non-neurogenic-Female-LUTS-2025.pdf

Nambiar, A. K., Bosch, R., Cruz, F., Lemack, G. E., Thiruchelvam, N., Tubaro, A., Bedretdinova, D. A., Ambühl, D., Farag, F., Lombardo, R., Schneider, M. P., & Burkhard, F. C. (2018). EAU guidelines on assessment and nonsurgical management of urinary incontinence. European Urology, 73(4), 596–609. https://doi.org/10.1016/j.eururo.2017.12.031

National Institute for Health and Care Excellence. (2019). Urinary incontinence and pelvic organ prolapse in women: Management (NICE guideline NG123). https://www.nice.org.uk/guidance/ng123

National Institute for Health and Care Excellence. (2021, December 9). Bladder training (Quality statement 5). In Urinary incontinence in women (QS77). https://www.nice.org.uk/guidance/qs77/chapter/quality-statement-5-bladder-training

O'Connor, E., Nic An Riogh, A., Karavitakis, M., Monagas, S., & Nambiar, A. (2021). Diagnosis and non-surgical management of urinary incontinence: A literature review with recommendations for practice. International Journal of General Medicine, 14, 4555–4565. https://doi.org/10.2147/IJGM.S289314

Park, J., Lee, H., Kim, Y., Norton, C., Woodward, S., & Lee, S. (2023). Effectiveness of fluid and caffeine modifications on symptoms in adults with overactive bladder: A

systematic review. International Neurourology Journal, 27(1), 23–35. https://doi.org/10.5213/inj.2346014.007

The North American Menopause Society. (2022). The 2022 hormone therapy position statement of The North American Menopause Society. Menopause, 29(7), 767–794. https://doi.org/10.1097/GME.0000000000002028

The North American Menopause Society. (2020). The 2020 genitourinary syndrome of menopause position statement of The North American Menopause Society. Menopause, 27(9), 976–992. https://doi.org/10.1097/GME.0000000000001609

World Health Organization. (2024, October 16). Menopause. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/menopause

Yazdany, T., Jakus-Waldman, S., Jeppson, P. C., Schimpf, M. O., Yurteri-Kaplan, L. A., Ferzandi, T. R., Weber-LeBrun, E., Knoepp, L., Mamik, M., Viswanathan, M., Ward, R. M., & American Urogynecologic Society. (2020). American Urogynecologic Society systematic review: The impact of weight loss intervention on lower urinary tract symptoms and urinary incontinence in overweight and obese women. Female Pelvic Medicine & Reconstructive Surgery, 26(1), 16–29. https://doi.org/10.1097/SPV.0000000000000802

BÜKÜM MERKEZİ MAKİNESİNDE BÜKÜM PARÇASININ AKIM DÖNGÜSÜYLE KONTROLÜ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Yüksek Elektrik-Elektronik Mühendisi Emirhan Toprak
Bursa Teknik Üniversitesi/Durmazlar Makine
EToprak@durmazlar.com.tr - 0000-0001-5796-6197

ÖZET

Büküm Merkezi, metal, çelik, alüminyum levhalar ile benzeri malzemelerin belirli açılarla şekillendirilmesi amacıyla kullanılan bir bükme sistemidir. Bu makineler; inşaat, havacılık, otomotiv gibi pek çok endüstriyel sektörde, özellikle de alüminyum ve paslanmaz çelik işleme alanlarında yoğun şekilde tercih edilmektedir. Büküm Merkezi; farklı ebat ve kalınlıklara sahip sac levhaları işleyebilmesi sayesinde üretim süreçlerine önemli ölçüde esneklik kazandırmakta, rekabetin arttığı modern imalat ortamlarında yenilikçi tasarımların uygulanmasına ve üretim verimliliğinin yükseltilmesine katkı sunmaktadır. Ayrıca sistemin sunduğu yüksek hız ve hassasiyet hem üretim hatlarının verimliliğini artırmakta hem de işçilik maliyetlerinin düşürülmesine imkân sağlamaktadır. Büküm parçasının yükleme, boşaltma ve büküm anında sabitleme işlemlerini gerçekleştirirken bu döngüler için ihtiyaç duyulan tork parçaya uygulanmalıdır. Bu çalışmada, Durmazlar Makine bünyesinde yer alan Büküm Merkezi makinesinde yükleme, boşaltma ve büküm aşamalarında sabitlemeyi gerçekleştiren lineer dikey eksen grubunun kontrolü Kapalı Akım Döngüsü ile uygulanmıştır. Servo sürücüde yer alan Akım, Hız ve Pozisyon döngüleri; aynı tip malzeme grupları üzerinde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, Akım Döngüsü ile tork temelli baskı kontrolü sağlandığında, Servo Motor'un aynı tür büküm parçalarını farklı pozisyonlarda kararlı biçimde sabitlediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, malzeme üretiminden kaynaklanabilecek hataların azaltılmasında Akım Döngüsü kontrolünün etkili bir yöntem olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler : Büküm Merkezi, Servo Sürücü, Akım Döngüsü

A NOVEL BIDIRECTIONAL FLOATING INTERLEAVED QUASI-Z-SOURCE DC-DC CONVERTER

Assoc. Prof. Dr. Furkan AKAR
Duzce University, Electrical and Electronics Engineering,
furkanakar@duzce.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1460-4468

ABSTRACT

This paper introduces a new bidirectional, high-gain interleaved DC-DC converter topology aimed at applications such as electric vehicles with hybrid energy sources, where a wide voltage conversion range is essential. The proposed design brings together ideas from the quasi-z-source network and the floating interleaved boost Converter, creating a structure that can efficiently transfer power in both directions between a low-voltage source and a high-voltage DC bus. One of the main strengths of this converter is its ability to provide high voltage gain and handle large input-voltage variations without relying on extreme duty cycles—thanks to its floating-output stage. Furthermore, the voltage stress across the power switches is inherently reduced. The paper first presents a detailed steady-state analysis for continuous conduction mode (CCM), then validates the analysis through detailed PLECS simulations, demonstrating the practicality and high performance of the proposed design.

Keywords: Bidirectional, floating interleaved, quasi-z-source, dc-dc converter.

1. INTRODUCTION

As the shift toward sustainable energy and electric mobility accelerates, DC-DC converters play a central role in managing power flow within hybrid energy systems and electric vehicles (EVs) [1]. In such applications, a high-gain bidirectional converter is essential for interfacing low-voltage energy sources—such as batteries, supercapacitors, and fuel cells—with the high-voltage DC bus [2]. Such converters must efficiently support both boost operation during traction and buck operation during regenerative braking, while keeping input current ripple low to protect sensitive sources like fuel cells [3]. To meet these requirements, a wide range of high-gain DC-DC converter topologies has been explored. Isolated converters can achieve large voltage ratios through transformer action but suffer drawbacks in cost, efficiency, and complexity [4]. Non-isolated converters, by contrast, offer higher power density and simpler control, with enhanced gain achievable through techniques such as coupled

inductors, switched-capacitor networks, voltage multipliers, and cascaded structures [5], [6]. Impedance-source converters—particularly Z-source and quasi-Z-source (qZs) converters—provide high gain without extreme duty cycles and reduce switch stress, making them attractive for EV and renewable-energy applications [7].

Interleaved architectures are widely used to reduce input current ripple and distribute power among phases; floating interleaved and double-dual boost structures can deliver high voltage gain while maintaining low component stress [8], [9]. Recent literature surveys have synthesized these developments and highlighted design trade-offs for hybrid energy storage and EV applications, providing a useful roadmap for topology selection and control-strategy integration [10]. Complementing these surveys, recent topology proposals—such as tri-mode bidirectional converters—explicitly target regenerative-braking efficiency and vehicle speed-control requirements, demonstrating practical benefits in EV traction and braking scenarios [11].

Switched-capacitor-based bidirectional converters have also gained attention for improving gain and efficiency while minimizing component count, offering an alternative path to high step-up ratios without extreme duty cycles [12]. Advanced interleaved high-gain further demonstrate significant ripple reduction and improved power handling by combining interleaving with multi-cell boosting techniques [13]. Finally, recent comparative reviews stress that next-generation bidirectional converters increasingly integrate advanced control methods and regenerative-braking-oriented power-flow management strategies [14], [15].

Building on these concepts, this paper introduces a bidirectional floating interleaved qZs DC-DC converter, as shown in Figure 1. The proposed topology merges the high-voltage-gain capability of qZs networks and low-stress characteristics of floating interleaved designs. It has a symmetric layout and can be regarded as two qZs modules connected in a parallel-input, series-output manner. It offers wide-range bidirectional operation, significantly reduced switch voltage stress, and naturally lowered input current ripple due to its multi-phase structure. Moreover, unlike existing floating interleaved structures, the proposed topology enables true bidirectional operation while achieving significantly higher voltage gain through its integrated quasi-Z-source network. The remainder of the paper presents the operating principles, steady-state gain analysis, and validation through detailed PLECS simulations.

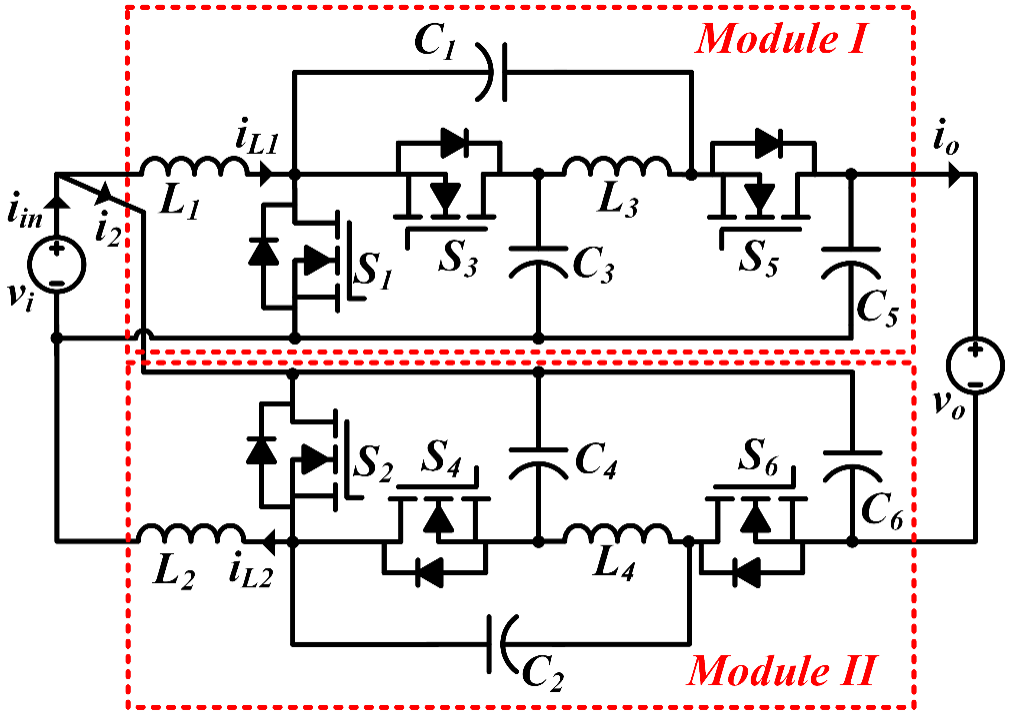
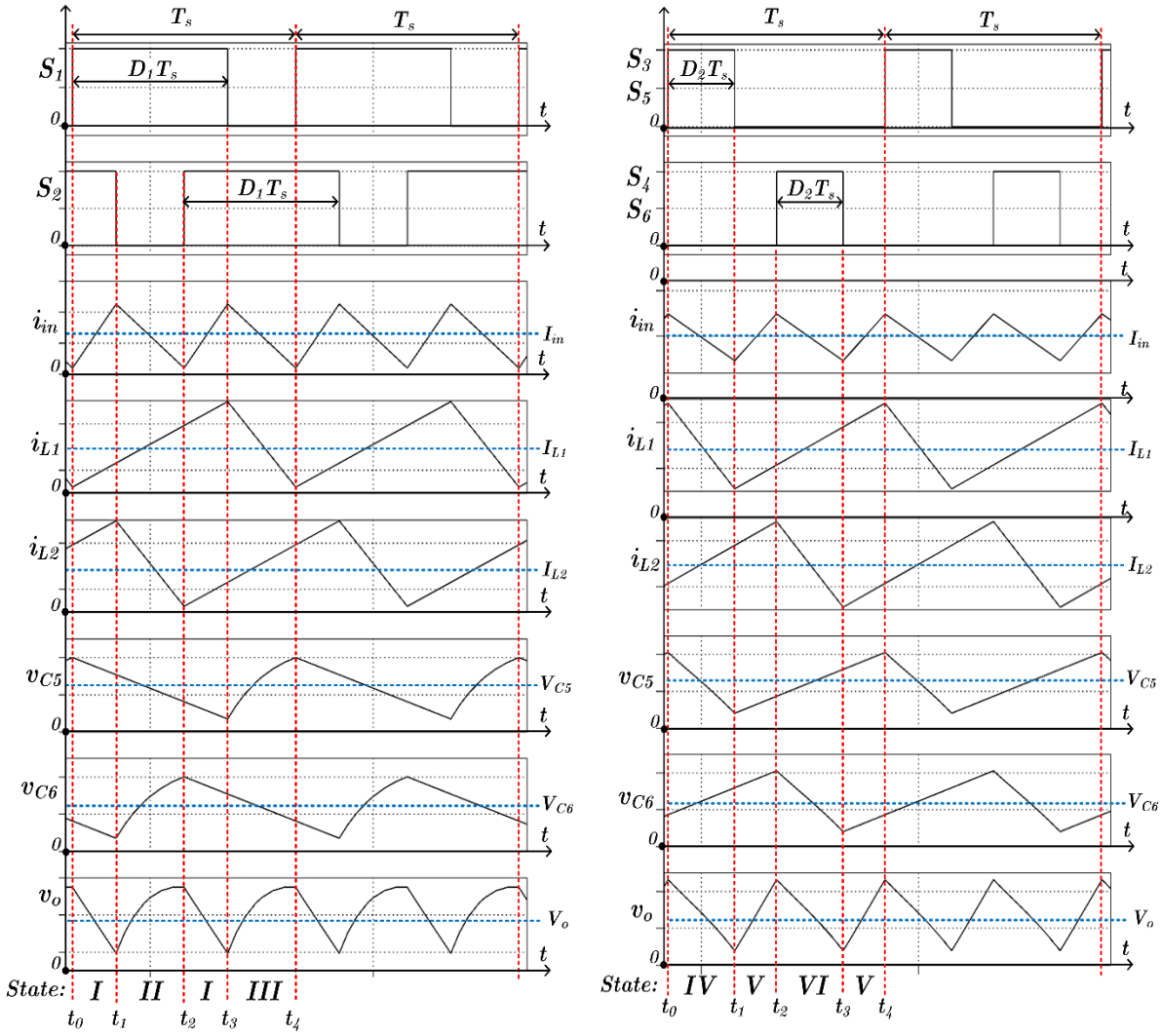


Figure 1. Proposed bidirectional floating interleaved qZs dc-dc converter

2. STEADY-STATE ANALYSIS

As can be seen in Figure 1, the proposed converter consists of 6 switches, 4 inductors, and 6 capacitors. It operates in boost mode when energy flows from input (v_i) to output (v_o), and in buck mode for the reverse power flow. In boost mode, switches S_1 and S_2 are actively driven with 180° phase-shifted interleaved PWM signals. All other switches remain off, and their body diodes naturally conduct to form the required current paths. This interleaved operation reduces input current ripple while the inductor–capacitor network generates a high step-up gain. In buck mode, the active switches change: the pairs (S_3, S_5) and (S_4, S_6) are modulated with 180° phase shift, while S_1 and S_2 remain off. The body diodes of S_1 and S_2 now provide conduction paths. This configuration enables a high step-down ratio with balanced current sharing between the two phases. In the analysis, it is assumed that all elements are ideal and the converter operates in continuous conduction mode (CCM).



(a) (b)

Figure 2. Typical steady-state waveforms in (a) boost mode, (b) buck mode.

2.1. Boost Mode

In this operating mode, switches S_1 and S_2 are controlled by a duty cycle, denoted by D_1, that can vary between 0 and 1. Two different waveform behaviors appear depending on whether D_1 is greater or less than 0.5, although the general characteristics remain similar. Since the converter is intended for high voltage-gain applications, the analysis here focuses on the case where D_1 is greater than 0.5. Typical waveforms can be seen in Figure 2(a).

1) State I ($t_0<t<t_1$ and $t_2<t<t_3$): Both S_1 and S_2 are ON; therefore both L_1 and L_2 are charged from the input source. C_3 and C_4 discharge to charge L_3-C_1 and L_4-C_2 pairs. Moreover, the output capacitors, C_5 and C_6, discharge through the input path to support the output.
2) State II ($t_1<t<t_2$): Turning OFF S_2 starts this state. The states of the elements in Module I remain the same as in State I. In Module II, however, the body diodes of S_4 and S_6 conduct. L_2 discharges and transfers its energy to C_4. The L_4-C_2 pair now charges C_6 and supplies the output.

3) State III ($t_3<t<t_4$): In this state, S_1 is OFF while S_2 is ON. Therefore, the states of the elements in Module II are identical to those in State II. In Module I, L_1 discharges to charge C_3 through the body diode of S_3. Besides, L_3-C_1 pair starts transferring energy to C_6 and the output.

Applying the Kirchhoff's Voltage Law, the output voltage can be expressed as in

$$v_o = v_{C5} + v_{C6} - v_i \tag{1}$$

where v_{C5} and v_{C6} denote the voltages of C_5 and C_6. Additionally, according to the Kirchhoff's Current Law, the currents can be related by

$$i_{in} = i_{L1} + i_2 = i_{L1} + i_{L2} - i_o \tag{2}$$

where i_{in} is the input current, i_o is the output current, i_{L1} and i_{L2} are the current L_1 and L_2, respectively. According to the steady state analysis, the average voltages of C_5 and C_6 can be expressed in terms of average input voltage (V_i) as follows [7]:

$$V_{C5} = V_{C6} = \frac{1 + D_1}{1 - D_1} V_i \tag{3}$$

Finally, inserting (3) into (1) allows obtaining the ideal voltage-gain of the proposed converter for the boost mode as follows [8]:

$$G_{boost} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + 3D_1}{1 - D_1} \tag{4}$$

Moreover, from (2) and (4), the average L_1 and L_2 currents, which are ideally equal, can be expressed as in (5). Note that average L_3 and L_4 currents are equal to the output current.

$$I_{L1} = I_{L2} = \frac{1 + D_1}{1 - D_1} I_o \tag{5}$$

2.2. Buck Mode

In the buck mode, the duty cycles of active switches (S_3, S_4, S_5, and S_6) are equal and denoted by D_2. Similar to the boost mode, D_2 can take values between 0 and 1; however, the case where D_2 is less than 0.5 is considered to emphasize the high step-down behavior. Typical waveforms for the buck mode are illustrated in Figure 2(b). Please note that the input current and the inductor currents are negative here, indicating power flow to the input.

1) State IV ($t_0<t<t_1$): In this state, S_3 and S_5 are ON; while S_4 and S_6 are OFF. Therefore, the body diode of S_1 does not conduct, while that of S_2 carries the current of L_2. In Module I, L_1 and L_3 are charged by C_3 and C_5. In Module II, L_2 discharges to feed the input and the L_4-C_2 pair discharges to charge C_4. Moreover, C_6 is charged by the energy from the output.
2) State V ($t_1<t<t_2$ and $t_3<t<t_4$): All switches are opened in this state. Therefore, a similar discussion as in State IV regarding Module II elements can be made here. In this case, L_1

supplies the input and the L_3-C_3 pair charges C_4. Moreover, C_6 is charged by the energy from the output.

3) State VI ($t_2<t<t_3$): Here, S_4 and S_6 are ON; while S_3 and S_5 are OFF. Thus, the body diode of S_1 is now forward-biased. In Module I, the same behavior continues: L_1 keeps supplying the input side, while L_3 and C_3 maintain the charging of C_4, and C_6 continues to be energized from the output. Besides, in Module II, C_4 and C_6 charge L_2 and L_4.

The steady state analysis allows expressing the average voltages of C_5 and C_6 in the buck mode as follows [7]:

$$V_{C5} = V_{C6} = \frac{2 - D_2}{D_2} V_i \tag{6}$$

Similarly, by inserting (6) into (1), the ideal voltage-gain of the proposed converter for the buck mode is obtained as follows [8]:

$$G_{buck} = \frac{V_i}{V_o} = \frac{D_2}{4 - 3D_2} \tag{7}$$

Moreover, from (2) and (7), the average L_1 and L_2 currents, which are ideally equal and negative, can be expressed as in (8) Similar to the boost mode, the average L_3 and L_4 currents in this mode are equal to the output current.

$$I_{L1} = I_{L2} = \frac{2 - D_2}{D_2} I_o \tag{8}$$

3. SIMULATION STUDY

In order to test the proposed converter, a PLECS simulation model is created. As the detailed design procedure is left for future works, the typical values presented in Table I are used in the simulation.

Table 1. Simulation parameters

Input voltage	40 V
Output voltage	400 V
Switching frequency	50 kHz
L_1 and L_2	150 µH
L_3 and L_4	250 µH
Capacitors	220 µF
Maximum output power	1000 W

In the simulations, small but non-zero (10 mΩ) MOSFET Rds(on) and inductor series resistances are used to avoid numerical instability in PLECS. In the simulation study, the output

current is first set to 2.5 A; then it is decreased to -2.5A to evaluate the proposed converter at full load in both directions. Simulation results are given in Figure 3. As illustrated, the associated duty cycles are kept constant at their theoretical values according to (4) and (7): D_1 is 0.692 in the boost mode, D_2 is 0.307 in the buck mode.

The variations in the output voltage, input current, L_1-L_2 currents, L_3-L_4 currents, and C_5-C_6 voltages are evaluated in Figure 3. First of all, it can be observed that the output voltage is approximately 400 V (with trivial deviations due to the parasitic) in both operation modes; therefore the voltage-gain analysis is verified. The input currents are naturally 25 A and -25A, which are ten times of the output currents since the required voltage-gains are 10.

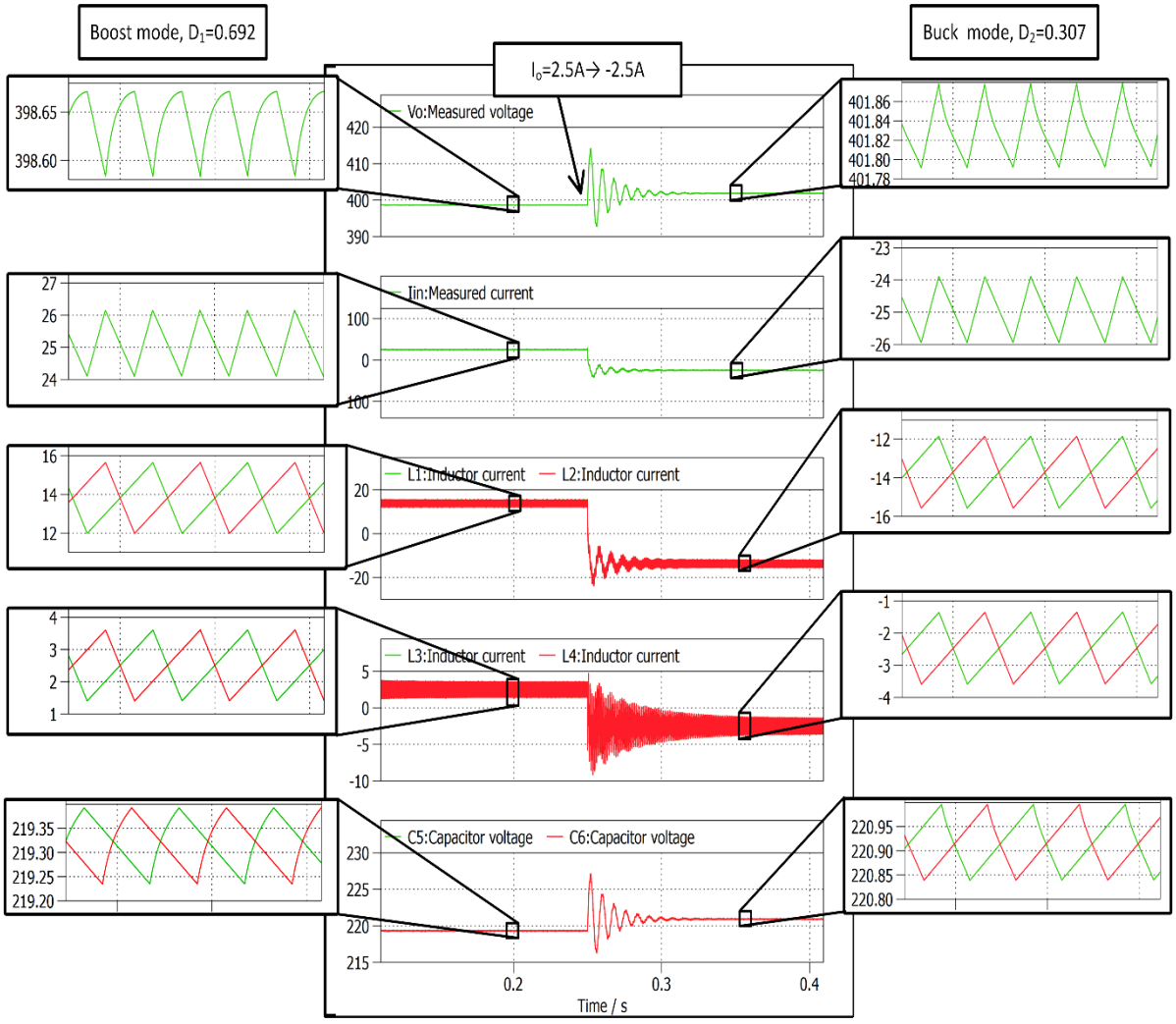


Figure 3. Simulation results.

Moreover, (5) and (7) are verified by the L1-L2 average currents, that align with the theoretical values of 13.7 A and -13.7 A. Additionally, the input current ripples are about 2 A, while L1-L2 current ripples are about 4 A, indicating successful interleaved operation. One can also observe that the averages of L3-L4 currents are equal to the output currents as noted earlier. Finally, the obtained C5-C6 average voltages are about 220 V, verifying the equations in (3) and (6). These results confirm the correct steady-state operation of the proposed converter in both directions.

3. CONCLUSION

This paper introduced a bidirectional floating interleaved quasi-Z-source DC–DC converter designed for applications that demand wide voltage conversion ranges and reliable power flow. The operating principles were examined step by step, and simple analytical expressions were derived to explain the behavior of the converter under continuous conduction mode. Simulation results showed an excellent match with the theoretical analysis, demonstrating that the converter maintains the expected voltage gain, balanced inductor currents, and stable capacitor voltages in both operating directions. In addition, the interleaved structure effectively reduced input-current ripple and helped distribute power evenly between phases.

4. REFERENCES

[1] A. Khaligh and Z. Li, “Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles,” IEEE Trans. Veh. Technol., 2010.

[2] J. Cao and A. Emadi, “A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles,” IEEE Trans. Power Electron., 2012.

[3] M. Uzunoglu and M. S. Alam, “Dynamic modeling, design and simulation of a PEM fuel cell/ultra-capacitor hybrid system for vehicular applications,” Energy Convers. Manage., 2007.

[4] R. W. Erickson and D. Maksimović, Fundamentals of Power Electronics, 2nd ed. Springer, 2001.

[5] K. I. Hwu and Y. T. Yau, “High step-up converter based on switched-capacitor and transformer techniques,” IEEE Trans. Power Electron., 2013.

[6] H. F. Ahmed, M. Hossain, and H. R. Pota, “High-gain DC–DC converter topologies: A review,” IEEE Access, 2019.

[7] Zhang, Y., Liu, Q., Li, J. and Sumner, M., "A common-ground switched-quasi-Z-source bidirectional DC–DC converter with wide-voltage-gain range for EVs with hybrid energy sources," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 6, pp. 5188–5199, June 2018.

[8] Sarikhani, S., Shahriari, A., Beheshti, M. R. T. and Adib, E., "Analysis, design and experimental results of a floating-output interleaved-input boost-derived DC–DC high-gain transformer-less converter," IET Power Electronics, vol. 11, no. 14, pp. 2235–2243, Nov. 2018.

[9] X. Sun, H. Wu, Y. Xing, and J. Ding, "A family of interleaved high step-up DC–DC converters with reduced current ripple," IEEE Trans. Power Electron., 2018.

[10] Y. Tong, I. Salhi, Q. Wang, G. Lu, and S. Wu, "Bidirectional DC–DC converter topologies for hybrid energy storage systems in electric vehicles: A comprehensive review," Energies, 2025.

[11] R. H. Ashique, M. M. Rashid, M. Y. Abdullah, and F. Blaabjerg, "A tri-mode bidirectional DC–DC converter for enhanced regenerative braking and speed control in electric vehicles," Vehicles, 2025.

[12] S. Singh and A. Kumar, "High-gain switched-capacitor-based bidirectional converter for electric vehicle applications," J. Energy Storage, 2024.

[13] H. Santos, L. Ferreira, and R. Pinto, "Interleaved quartic high-gain DC–DC converter," Sci. Rep., 2024.

[14] Z. Xu, Y. Liu, and J. Li, "Recent developments in bidirectional DC–DC converter topologies and control strategies for photovoltaic power generation systems: A comparative review," Electronics, 2025.

[15] M. A. Rahman, T. S. Uddin, and K. M. Muttaqi, "Advances in bidirectional converters and regenerative braking systems for electric vehicles," Machines, 2025.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SLOT TYPE ON THE EFFICIENCY OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATORS FOR WIND TURBINE APPLICATIONS

Res. Asst. Dr. Abdurrahman YAVUZDEĞER

Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University

E-mail: ayavuzdeger@atu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8058-4672

ABSTRACT

Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs) are widely used in wind turbine systems due to their high efficiency, low maintenance requirements, and superior power density. However, the electromagnetic behavior and overall performance of these machines are significantly affected by the geometry of the stator slot, which determines magnetic flux distribution, torque ripple, and copper losses. This study investigates the influence of four distinct stator slot configurations efficiency of PMSGs for wind turbine applications. The analysis is performed using the ANSYS/RMxprt software package to accurately model and evaluate the generator performance under identical rated conditions. All generator models are designed with the same material properties, winding parameters, and operational settings to ensure a fair comparison among the slot geometries. Simulation results indicate that slot geometry has a substantial impact on the efficiency characteristics of PMSGs. Comparative results highlight the sensitivity of generator performance to geometric variations in stator slot design. The findings provide practical insights for optimizing PMSG structures to achieve higher efficiency and improved operational stability in wind energy systems.

Keywords : Permanent magnet synchronous generator, wind turbine generators, stator slot geometry, generator performance evaluation, efficiency optimization

1. INTRODUCTION

The increasing global focus on sustainable energy production has positioned wind energy as one of the most promising and rapidly growing renewable energy sources. In modern wind turbine systems, the generator plays a crucial role in determining the efficiency and reliability of energy conversion. Among various generator types, Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs) have gained particular attention due to their high efficiency, compact design, and low maintenance requirements. These features make PMSGs particularly suitable for direct-drive wind turbines where mechanical losses associated with gearboxes are eliminated, thereby improving system durability and reducing operational costs [1-3].

PMSGs operate based on the interaction between the rotor's permanent magnets and the stator's electromagnetic field. Because they do not require external excitation, they provide higher efficiency compared to induction or doubly-fed induction generators. However, the electromagnetic performance of a PMSG is highly sensitive to the machine geometry, especially the stator slot configuration, which directly affects the magnetic flux distribution, torque production, and copper losses [4]. Variations in slot shape, depth, and width alter the magnetic field path and determine the degree of flux leakage, cogging torque, and harmonic distortion within the machine. Therefore, careful optimization of the stator slot geometry is fundamental for enhancing generator efficiency and ensuring stable operation under variable wind conditions [5].

Tokat et al. [1] investigated the influence of different stator slot geometries on PMSGs designed for wave and wind energy converters, reporting that slot geometry significantly affects electromagnetic torque and loss components. Their findings confirmed that minimizing slot opening and optimizing slot fill factor improve magnetic flux linkage and reduce torque ripple. Similarly, Rolan et al. [2] modeled a variable-speed wind turbine using a PMSG and demonstrated that machine performance strongly depends on the internal geometry of the stator and winding configuration. These studies collectively indicate that the design of stator slots plays a vital role in controlling both electrical and mechanical losses, directly influencing overall system efficiency.

The importance of stator slot geometry is not limited to electromagnetic performance but extends to mechanical and thermal stability as well. Madani [3] studied PMSG design for vertical-axis wind turbines and highlighted that slot configuration impacts the mechanical stress distribution within the stator core. An improper slot profile may cause non-uniform thermal loading and localized saturation, which in turn reduces the generator's operational lifespan. The integration of simulation tools such as ANSYS Maxwell or RMxprt now enables designers to perform detailed analyses of slot shape and dimension before fabrication, thus achieving better trade-offs between efficiency, manufacturability, and thermal reliability.
Another key aspect of stator design is the relationship between slot geometry and winding configuration. Barré and Napame [4] emphasized that compact PMSGs employing concentrated windings are especially sensitive to slot dimensions, as magnetic coupling between adjacent

slots can increase localized core losses. Their research demonstrated that proper slot selection allows for better heat dissipation and improved electromagnetic performance in compact machines. Similarly, Yavuzdeger et al. [5] performed a finite element analysis (FEA) on PMSGs for wind turbine applications, showing that modifications in slot tooth width and slot opening angles significantly influence the distribution of magnetic flux density across the stator surface. Optimized slot geometries resulted in higher output power and reduced harmonic content in the induced voltage waveform.

In recent years, with the continuous growth of wind energy technology, there has been a strong trend toward compact, high-efficiency PMSG designs that can operate effectively in low-speed, high-torque environments [6]. Slot geometry optimization provides one of the most effective methods for achieving this goal [7]. By minimizing torque ripple, reducing harmonic losses, and improving magnetic field uniformity, it is possible to enhance energy conversion efficiency without increasing the machine's volume or cost. Consequently, the investigation of slot type variations is essential for the continued advancement of wind turbine generator technology.

Therefore, this study aims to analyze and compare the effects of four different stator slot geometries on the efficiency of PMSGs intended for wind turbine applications. The analysis employs finite element modeling and simulation using ANSYS/RMxprt under identical rated operating conditions to ensure an objective comparison. Through this investigation, the work seeks to provide a comprehensive understanding of how slot design influences the overall electromagnetic and efficiency performance of PMSGs. The findings will serve as a valuable reference for optimizing generator structures to enhance power output, reduce losses, and ensure stable operation in future high-performance wind energy systems.

2. THEORETICAL BACKGROUND

2.1 Operating Principles of PMSGs

PMSGs are electromechanical devices that convert mechanical energy from the turbine shaft into electrical energy through electromagnetic induction. The rotor of a PMSG is equipped with permanent magnets that establish a constant magnetic field, while the stator contains a three-phase winding system where voltage is induced as the magnetic flux rotates relative to the coils. The generated electromotive force (EMF) is synchronized with the rotor's angular velocity, hence the term synchronous generator. Unlike conventional synchronous generators, PMSGs do not require external excitation or slip rings, resulting in reduced copper losses and improved reliability. The use of high-energy rare-earth magnets, such as neodymium-iron-boron (NdFeB), provides high magnetic flux density and enables compact, lightweight generator designs suitable for direct-drive wind turbines. Because of the elimination of mechanical gearboxes, PMSGs exhibit high efficiency even at low wind speeds, making them a preferred choice for offshore and variable-speed wind energy systems [8].

2.2 Electromagnetic Characteristics Affected by Slot Geometry

The electromagnetic performance of PMSGs depends strongly on the geometry of the stator slots, which shape the magnetic field distribution and determine the coupling between the stator and rotor magnetic circuits [9-11]. Slot parameters such as opening width, slot depth, tooth width, and skew angle directly affect air-gap flux density, magnetic saturation levels, and cogging torque. A wider slot opening generally increases flux leakage and harmonic distortion, while deeper slots can reduce copper losses but may lead to uneven flux distribution. Conversely, optimized slot shapes improve the sinusoidal nature of the back-EMF waveform and minimize torque pulsations, thereby enhancing overall machine efficiency. The thermal performance of the stator is also influenced by slot geometry, as variations in slot fill factor alter current density and heat dissipation patterns [12-16]. Hence, achieving a balance between electromagnetic performance and manufacturability is essential in the slot design process .

Recent advancements in computational tools such as ANSYS Maxwell and RMxprt have enabled precise electromagnetic analysis, allowing designers to simulate the influence of various slot geometries before prototype fabrication. These tools calculate magnetic flux linkage, eddy current losses, and torque ripple, providing a reliable foundation for multi-parameter optimization.

3. PMSG DESIGN AND SLOT CONFIGURATIONS

The design of the PMSG analyzed in this study is carried out using ANSYS/RMxprt**,** a specialized software package for the electromagnetic modeling and performance evaluation of rotating electrical machines. This platform provides both analytical and numerical solutions based on electromagnetic field theory, enabling the precise estimation of flux density, torque characteristics, and losses under various geometric configurations. All generator models are designed under identical electrical and mechanical operating conditions to ensure a fair comparison among the four slot geometries investigated.

As summarized in Table 1**,** the generator under study has a rated power of 10 kW, a nominal speed of 100 rpm, and operates at a frequency of 50 Hz. The design adopts an inner-rotor configuration, which allows effective cooling and compact construction—an advantage for low-speed wind turbine applications. The generator includes 60 rotor poles and 48 stator slots, forming a high pole-to-slot ratio that improves torque density while maintaining a smooth electromagnetic field distribution. The nominal operating temperature is set to 75 °C, accounting for the typical thermal conditions experienced in direct-drive wind turbines. A nominal power factor of 0.75 and a frictional loss of 120 W are assumed to reflect realistic performance under rated load conditions.

Table 1. The design parameters of the investigated PMSG.

Parameters	**Values**

Nominal power (kW)	10
Nominal speed (rpm)	100
Frequency (Hz)	50
Rotor position	Inner Rotor
Operating temperature	75 °C
Frictional loss	120 W
Nominal power factor	0.75
Pole number	60
Slot number	48

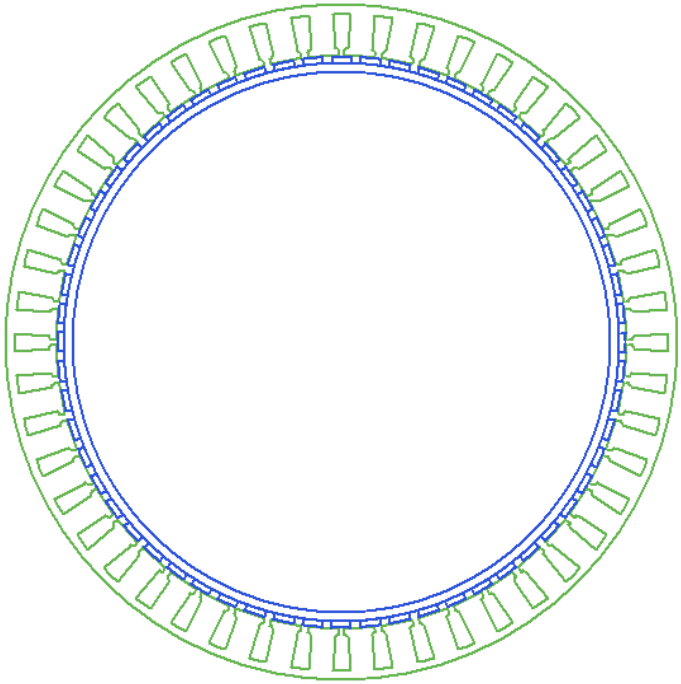


Figure 1. Schematic representation of the generator with 48 stator slots and 60 rotor poles.

The geometric structure of the generator is further detailed in Figure 1, showing the 48-slot and 60-pole configuration. This topology provides a high number of magnetic poles, which increases torque production at low speeds—a desirable feature for direct-drive wind energy systems where gearboxes are eliminated. The large pole count also improves the sinusoidal nature of the back EMF waveform, reducing torque pulsations. However, such designs demand precise slot shaping to prevent localized flux concentration and core saturation. Therefore, slot geometry optimization is crucial for balancing efficiency, weight, and torque characteristics.

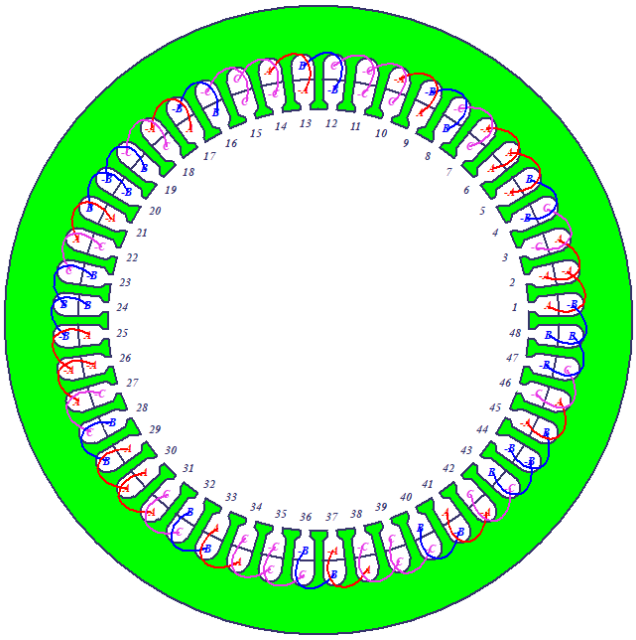
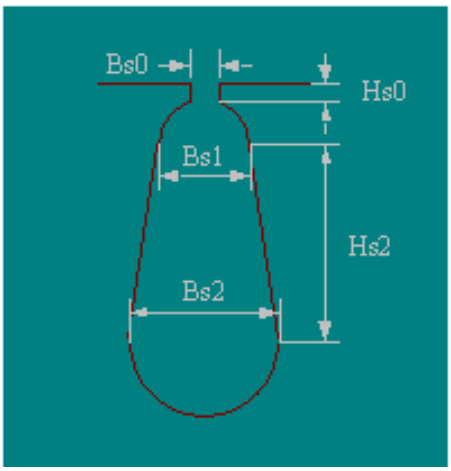
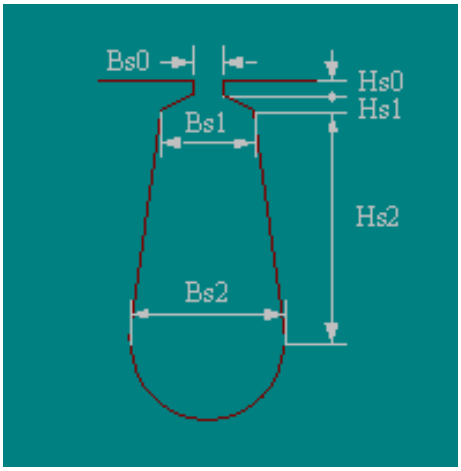


Figure 2. Topology of the stator winding system in the PMSG model.

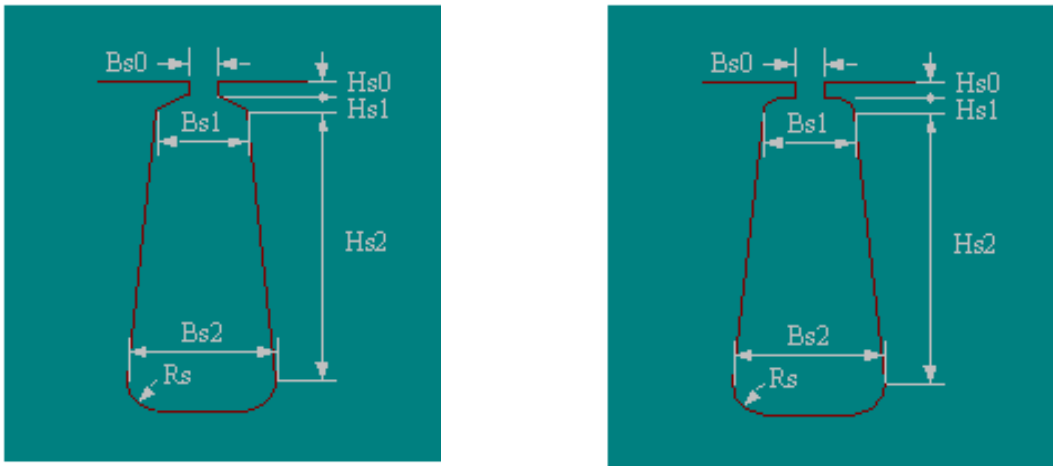
The general configuration of the designed machine is presented in Figure 2, which depicts the topology of the stator winding system. A three-phase distributed winding is selected to achieve a balanced magnetic field and reduce harmonic distortion in the induced voltage waveform. The winding pattern follows a symmetrical layout to minimize unbalanced magnetic pull, ensuring smooth operation and structural integrity at low rotational speeds. The winding layout also facilitates high copper fill factors while maintaining sufficient slot insulation, improving efficiency without compromising thermal stability.



Case 1



Case 2



Case 3 **Case 4**

Figure 3. Illustration of different stator slot geometries used for PMSG analysis: case 1, case 2, case 3, and case 4.

To investigate the impact of slot geometry on generator performance, four different stator slot configurations referred to as case 1, case 2, case 3, and case 4 are modeled and analyzed, as illustrated in Figure 3. Each configuration features a distinct combination of slot opening width (Bs0), slot neck height (Hs0), slot body dimensions (Bs1, Bs2), and tooth radius (Rs). These geometric parameters influence how magnetic flux travels through the stator core and into the air gap. Variations in slot shape also affect the slot fill factor, determining the amount of copper conductor that can be accommodated within each slot, thereby impacting copper losses and temperature rise during operation.

In case 1, the slot is designed with a narrow opening and a larger body section, enabling higher copper utilization and improved magnetic flux linkage between the stator and rotor. This configuration is intended to investigate how compact slot structures affect efficiency and torque generation while maintaining adequate mechanical strength in the stator teeth. Case 2 features a slightly adjusted neck and tooth width to evaluate the relationship between slot proportions, magnetic field uniformity, and rated torque stability under identical operating conditions. Both designs represent approaches that aim to achieve higher efficiency without increasing total machine weight.

Cases 3 and 4, in contrast, incorporate wider slot openings and modified body depths to study their influence on air-gap flux distribution, torque ripple tendencies, and copper fill capability. These configurations allow for assessing how geometric changes impact parameters such as efficiency, rated torque, total net weight, and stator slot fill factor. By evaluating these parameters in ANSYS/RMxprt under identical rated conditions, the study seeks to identify design tendencies that promote optimal generator behavior for wind turbine applications.

4. SIMULATION RESULTS AND ANALYSIS

The simulation phase of this study is conducted using ANSYS/RMxprt**,** which enables detailed electromagnetic performance analysis of rotating electrical machines under defined operating conditions. All four stator slot configurations (Case 1–Case 4) are modeled using identical material, winding, and rated parameters to ensure that only geometric variations influenced the results. The comparative data obtained from the simulations are summarized in Table 2, which presents the efficiency**,** rated torque**,** total net weight, and stator slot fill factor for each configuration.

Table 2. Performance results of the PMSG for different stator slot geometries.

Cases	Efficiency (%)	Rated Torque (N.m)	Total Net Weight (kg)	Stator Slot Fill Factor (%)
Case 1	93.7283	1041.42	127.111	85.4788
Case 2	93.7396	1041.09	126.367	79.2091
Case 3	88.6393	1053.93	114.086	57.4203
Case 4	88.6591	1053.79	113.482	57.4203

4.1 Efficiency Analysis

Efficiency is one of the most critical indicators of generator performance, as it directly reflects how effectively mechanical power from the turbine is converted into electrical energy. According to Table 2, cases 1 and 2 demonstrate the highest efficiencies, both exceeding 93.7%, whereas cases 3 and 4 show a significant drop, falling below 89%. This difference can be attributed primarily to the stator slot geometry and its influence on the electromagnetic flux path and copper losses. In case 1, the slot's narrow opening and large body volume enable a higher slot fill factor, which increases the effective copper cross-section. This minimizes winding resistance and Joule losses, thus improving the overall energy conversion efficiency. Case 2, although featuring a slightly smaller fill factor, maintains comparable efficiency, suggesting that small geometric adjustments in slot neck and body dimensions have a marginal impact on copper loss if magnetic saturation remains balanced. In contrast, cases 3 and 4 utilize wider slot openings, which increase air-gap flux leakage and weaken magnetic coupling between the rotor and stator. This leads to reduced magnetic flux linkage and higher harmonic distortion in the induced EMF, consequently lowering the overall efficiency. The results clearly indicate that slot geometry optimization—particularly controlling the slot opening and body ratio—is fundamental to achieving high-efficiency generator operation.

4.2 Rated Torque Evaluation

Rated torque represents the generator's ability to convert rotational mechanical energy into electromagnetic torque at the rated load condition. Table 2 reveals that while efficiency decreases in cases 3 and 4, their rated torque values (approximately 1054 N·m) are slightly higher than those of cases 1 and 2 (around 1041 N·m). This difference highlights the inherent trade-off between torque production and efficiency.

The increased torque in cases 3 and 4 can be attributed to the larger slot body volume and wider openings, which lead to higher magnetic loading in certain regions of the stator teeth. These designs enhance the instantaneous electromagnetic force acting on the rotor surface but also introduce higher magnetic losses and flux distortion. Conversely, cases 1 and 2 achieve smoother torque with reduced ripple, thanks to their more balanced magnetic flux paths and lower leakage inductance.

In the context of wind turbine operation, maintaining torque smoothness is often more important than maximizing its peak value, as torque pulsations can cause mechanical vibrations and fatigue stress in the drive train. Therefore, although cases 3 and 4 generate slightly higher torque, cases 1 and 2 provide superior operational stability, making them more suitable for direct-drive wind energy systems.

4.3 Total Net Weight Comparison

The total net weight of the generator is another crucial parameter, particularly for wind turbine applications where mechanical load and installation costs are major design considerations. As shown in Table 2, the total net weight decreases progressively from 127.11 kg in case 1 to 113.48 kg in case 4. The reduction in weight results from decreased iron volume due to the larger slot openings and thinner stator teeth in cases 3 and 4.

While lower weight contributes positively to ease of assembly and structural compactness, it can also result in increased magnetic flux density in the remaining stator sections, raising the risk of localized saturation. Therefore, an optimal design must balance electromagnetic performance with mechanical lightness. In this study, cases 1 and 2 provide a desirable compromise between mass and efficiency, while cases 3 and 4, despite their lighter structure, exhibit reduced energy conversion performance.

This observation reinforces the fact that minimizing material weight must not compromise magnetic circuit integrity. In high-torque, low-speed PMSGs used in wind turbines, sufficient stator and rotor iron volume is necessary to sustain high magnetic flux linkage without excessive saturation or flux leakage.

4.4 Stator Slot Fill Factor Considerations

The stator slot fill factor reflects how efficiently the available slot area is utilized for copper winding. A higher fill factor typically correlates with improved efficiency due to lower winding resistance, provided that insulation and thermal limits are respected. From Table 2, the fill factor values range from 85.47% in case 1 to 57.42% in cases 3 and 4, showing a clear relationship between fill factor and overall efficiency.

The high fill factor in case 1 demonstrates effective utilization of slot space, allowing for larger conductor cross-sections and reduced current density. Case 2 maintains a moderately high fill factor, balancing copper usage and manufacturability. Conversely, the lower fill factors in cases 3 and 4 suggest that the wider slot openings reduce the usable area for copper placement, increasing resistance and subsequently energy losses. The data thus confirm that slot fill optimization is one of the most influential aspects of PMSG performance design, especially in achieving high-efficiency operation under rated conditions.

5. CONCLUSION

This study analyzed the influence of stator slot geometry on a 10 kW, 48-slot, 60-pole PMSG for wind turbine applications using ANSYS/RMxprt. Four slot configurations (Case 1–Case 4) are modeled under identical conditions to evaluate their effects on efficiency, rated torque, total net weight, and stator slot fill factor. The results confirmed that small geometric variations in slot shape can significantly affect electromagnetic performance and energy conversion behavior. Cases 1 and 2 achieved the highest efficiencies (93.73% and 93.74%) due to narrower slot openings and higher copper utilization, yielding stable torque around 1041 N·m. In contrast, Cases 3 and 4 produced slightly higher torque (≈1054 N·m) but lower efficiencies (88.64% and 88.66%) as a result of greater flux leakage. These findings illustrate the trade-off between torque enhancement and efficiency that arises from slot geometry variations. The generator's total net weight decreased from 127.11 kg in case 1 to 113.48 kg in case 4, reflecting reduced iron volume. While lighter designs favor compactness, excessive weight reduction can weaken magnetic coupling and increase losses. Similarly, the slot fill factor decreased from 85.48% (Case 1) to 57.42% (Cases 3 and 4), showing a direct correlation between copper density and efficiency. Hence, case 1 provided the most balanced design across all performance metrics. The stator slot geometry optimization is vital for achieving high-efficiency and stable torque characteristics in PMSGs. Adjusting slot dimensions to maximize copper utilization while maintaining magnetic integrity enables superior performance for wind turbine systems. Future studies should extend this analysis with electromagnetic modeling and experimental validation to confirm the simulation-based findings.

.

REFERENCES

1. Tokat, A., Thiringer, T., & Jansson, E. Impact of stator slot geometry on the performance of a permanent magnet synchronous generator for wave energy converters, International Conference on Electrical Machines (ICEM), September, 1910–1916, Gothenburg, Sweden, 2020.

2. Rolan, A., Luna, A., Vazquez, G., Aguilar, D., & Azevedo, G. Modeling of a variable speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator, IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), July, 734–739, Seoul, Korea (South), 2009.

3. Madani, N. Design of a permanent magnet synchronous generator for a vertical axis wind turbine, Degree of Master Thesis, KTH School of Electrical Engineering, Sweden, 2011.

4. Barré, O., & Napame, B. Concentrated windings in compact permanent magnet synchronous generators: managing efficiency, Machines, January, 4, 2, 2016.

5. Yavuzdeger, A., Esenboga, B., Ekinci, F., & Demirdelen, T. Design and finite element analysis of permanent magnet synchronous generator for wind turbine application, Numerical Methods for Energy Applications, March, Power Systems Series, Springer, Cham, 2021.

6. Nam, P. H., & Chuyen, T. D. Research on optimal design of surface permanent magnet synchronous generator, Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, May, 14(5), 4115–4124, 2025.

7. Hsiao, C. Y., Yeh, S. N., & Hwang, J. C. Design of high performance permanent-magnet synchronous wind generators, Energies, November, 7(11), 7105–7124, 2014.

8. Orlando, N. A., Liserre, M., Mastromauro, R. A., & Dell'Aquila, A. A survey of control issues in PMSG-based small wind-turbine systems, IEEE Transactions on Industrial Informatics, June, 9(3), 1211–1221, 2013.

9. Öztürk, N., Dalcalı, A., Celik, E., & Sakar, S. Cogging torque reduction by optimal design of PM synchronous generator for wind turbines, International Journal of Hydrogen Energy, July, 42(28), 17593–17600, 2017.

10. Bakbak, A., Canseven, H. T., Ayaz, M., Altintaş, M., & Meşe, E. Maximizing energy extraction from direct grid coupled PMSG for wind energy conversion systems, IEEE Transactions on Industry Applications, May, 58(3), 3888–3900, 2022.

11. Gul, W., Gao, Q., & Lenwari, W. Optimal design of a 5-MW double-stator single-rotor PMSG for offshore direct drive wind turbines, IEEE Transactions on Industry Applications, January, 56(1), 216–225, 2019.

12. Jin, Z., Yan, L., Wei, X., Gao, X., Zhou, Y., Su, H., & Wang, J. Design and thermal analysis of a self-circulating integrated composite cooling system for high-speed PMSG in hybrid power generation system, Chinese Journal of Mechanical Engineering, March, 100070, 2025.

13. Kumar, R. R., Singh, S. K., & Srivastava, R. K. Thermal modelling of dual-stator five-phase permanent magnet synchronous generator, IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India), December, 1–6, IEEE, 2017.

14. Smith, C. J., Crabtree, C. J., & Matthews, P. C. Impact of wind conditions on thermal loading of PMSG wind turbine power converters, IET Power Electronics, November, 10(11), 1268–1278, 2017.

15. Trongtorkarn, M., Theppaya, T., Techato, K., Luengchavanon, M., & Kasagepongsarn, C. Relationship between starting torque and thermal behaviour for a permanent magnet synchronous generator (PMSG) applied with vertical axis wind turbine (VAWT), Sustainability, August, 13(16), 9151, 2021.

16. Polikarpova, M., Lindh, P., Gerada, C., Rilla, M., Naumanen, V., & Pyrhönen, J. Thermal effects of stator potting in an axial-flux permanent magnet synchronous generator, Applied Thermal Engineering, April, 75, 421–429, 2015.

EMERGING DEVELOPMENTS AND ADVANCES IN SOLAR PHOTOVOLTAIC PANEL CLEANING TECHNOLOGIES

Res. Asst. Dr. Abdurrahman YAVUZDEĞER
Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University
E-mail: ayavuzdeger@atu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8058-4672

ABSTRACT

Solar photovoltaic (PV) technology has become one of the most promising solutions for sustainable energy generation worldwide. However, maintaining the optimal performance of PV panels remains a significant challenge due to the accumulation of dust, dirt, and other contaminants on their surfaces. Even a thin layer of dust can lead to substantial power losses, reduced system efficiency, and increased maintenance costs. Consequently, the development and implementation of effective cleaning technologies have become essential for maximizing the long-term productivity of solar energy systems. This study provides an overview of the emerging developments and recent advances in solar PV panel cleaning technologies. It highlights the evolution of cleaning methods from traditional manual approaches to modern automated and robotic systems. Various techniques—such as mechanical brushing, water-jet systems, electrostatic cleaning, hydrophobic coatings, and waterless technologies—are discussed in terms of efficiency, cost, and environmental impact. In addition, the review explores the integration of smart control systems, artificial intelligence, and Internet of Things (IoT) applications to enhance cleaning efficiency and reduce operational complexity. Overall, this overview emphasizes that regular and efficient cleaning is crucial to sustaining PV panel performance, ensuring higher energy yield, and supporting the global transition toward clean energy. The continuous development of innovative, sustainable, and cost-effective cleaning technologies will play a vital role in the future success of solar photovoltaic systems.

Keywords : Solar PV panel, panel cleaning technologies, dust accumulation, efficiency, sustainable energy

1. INTRODUCTION

The rapid global expansion of PV energy systems has positioned solar power as one of the most critical components of the transition toward low-carbon and sustainable energy infrastructures. Continuous reductions in module costs, improvements in conversion efficiencies, and supportive policy frameworks have accelerated the deployment of PV installations across diverse climatic and geographical regions. As PV capacity increases worldwide, ensuring the reliable and efficient operation of installed systems has become as important as improving module design itself. Among the operational challenges faced by PV systems, surface soiling of solar panels has emerged as a major factor that directly affects energy yield, system reliability, and long-term economic performance [1-3]. Soiling refers to the accumulation of

dust, sand, pollen, bird droppings, industrial pollutants, and other airborne particles on the surface of PV modules. Numerous studies published have demonstrated that even moderate levels of soiling can lead to significant power output losses, with reported reductions ranging from a few percent to more than 30% depending on environmental conditions, panel orientation, and maintenance frequency [4-6]. In arid and semi-arid regions, where solar irradiation is high and water resources are limited, soiling losses are often more pronounced due to frequent dust events and limited natural cleaning by rainfall. Similarly, urban and industrial environments expose PV panels to fine particulate matter and chemical residues that adhere strongly to glass surfaces, further complicating cleaning efforts.

Recent scientific literature emphasizes that soiling is not a static phenomenon but a dynamic process influenced by meteorological variables such as wind speed, humidity, precipitation patterns, and seasonal variations [7]. High humidity can promote the formation of cemented dust layers that are more difficult to remove, while light rain may redistribute contaminants rather than clean the panel surface effectively. Over time, repeated soiling and inadequate cleaning can lead not only to short-term efficiency losses but also to long-term degradation mechanisms, including surface abrasion and chemical interactions with the module glass or anti-reflective coatings. Consequently, panel cleaning is increasingly recognized as an integral part of PV system operation and maintenance strategies. Traditionally, solar panel cleaning has relied on manual labor and water-based washing methods. While these approaches can be effective for small-scale installations, they present several limitations when applied to large solar farms. High labor costs, safety concerns, water consumption, and inconsistent cleaning quality have motivated researchers and industry stakeholders to explore alternative solutions. Many studies have focused on developing automated, robotic, and water-efficient cleaning technologies aimed at reducing operational costs while maintaining or improving cleaning effectiveness. These developments reflect a broader shift toward smart and sustainable maintenance practices within the solar energy sector.

One of the most significant trends observed in recent publications is the growing interest in automated and robotic cleaning systems [8-12]. Advances in robotics, sensors, and control algorithms have enabled the design of autonomous devices capable of operating on large PV arrays with minimal human intervention. Studies published since 2020 highlight the potential of these systems to perform regular cleaning cycles, adapt to varying panel configurations, and operate under harsh environmental conditions [13]. By reducing dependence on manual labor and enabling frequent cleaning, robotic solutions offer a promising pathway to mitigating soiling losses, particularly in utility-scale solar plants. In parallel with mechanical and robotic approaches, recent research has also explored waterless and low-water cleaning technologies. Electrostatic dust removal, air-based cleaning mechanisms, and vibration-induced particle detachment have been investigated as viable alternatives, especially in regions facing water scarcity [14]. Scientific studies from the literature indicate that while these techniques may not fully replace conventional washing in all scenarios, they can significantly reduce water usage and maintenance costs when integrated into hybrid cleaning strategies. Such innovations align with global sustainability goals by addressing both energy efficiency and resource conservation.

Another important area of advancement highlighted in contemporary literature is the development of advanced surface materials and coatings [15]. Self-cleaning, hydrophobic, and hydrophilic coatings have been widely studied for their ability to reduce dust adhesion and facilitate natural cleaning processes. Nanotechnology-based coatings, in particular, have shown potent ial in minimizing soiling accumulation without compromising optical transmittance. Research published in recent years suggests that combining surface engineering with appropriate cleaning technologies can yield synergistic benefits, enhancing overall system performance and extending module lifespan. Despite these advances, recent studies also underline that no single cleaning solution is universally optimal. The effectiveness of a given technology depends strongly on site-specific factors such as climate, installation scale, economic constraints, and environmental regulations. Consequently, comparative assessments and techno-economic analyses have become increasingly prominent in the literature, providing valuable insights into the trade-offs associated with different cleaning strategies. These analyses support informed decision-making for PV system operators seeking to balance performance gains with operational sustainability.

A comprehensive review of emerging developments and recent advances in solar photovoltaic panel cleaning technologies is both timely and necessary. By synthesizing findings from scientific studies published, this paper aims to provide current cleaning methods, highlight key technological trends, and identify remaining challenges and research gaps. Such an assessment contributes to a deeper understanding of how innovative cleaning solutions can support the long-term efficiency, reliability, and sustainability of solar PV systems worldwide.

2. SOILING MECHANISMS AND ENVIRONMENTAL FACTORS

Soiling is widely acknowledged as one of the most critical environmental factors influencing the operational performance of PV systems. It refers to the accumulation of airborne particles and contaminants on the surface of PV modules, which reduces the amount of solar radiation reaching the photovoltaic cells and leads to energy yield losses. The overall process of particle transport, deposition, and adhesion on photovoltaic module surfaces is illustrated in Figure 1, which summarizes the main environmental and physical factors contributing to soiling accumulation and removal dynamics. Large-scale assessments conducted across Europe have demonstrated that soiling losses exhibit significant spatial variability and depend strongly on regional climatic conditions, local pollution sources, and maintenance practices [16]. The mechanisms governing soiling are inherently complex and involve the interaction of particle transport, deposition, adhesion, and removal processes. Particulate matter originates from both natural sources, such as desert dust and soil particles, and anthropogenic activities, including industrial emissions and vehicular traffic. A comprehensive review of soiling estimation methods highlights that the physical characteristics of particles—such as size, shape, and chemical composition—play a decisive role in determining optical losses and adhesion strength on PV module surfaces [17].

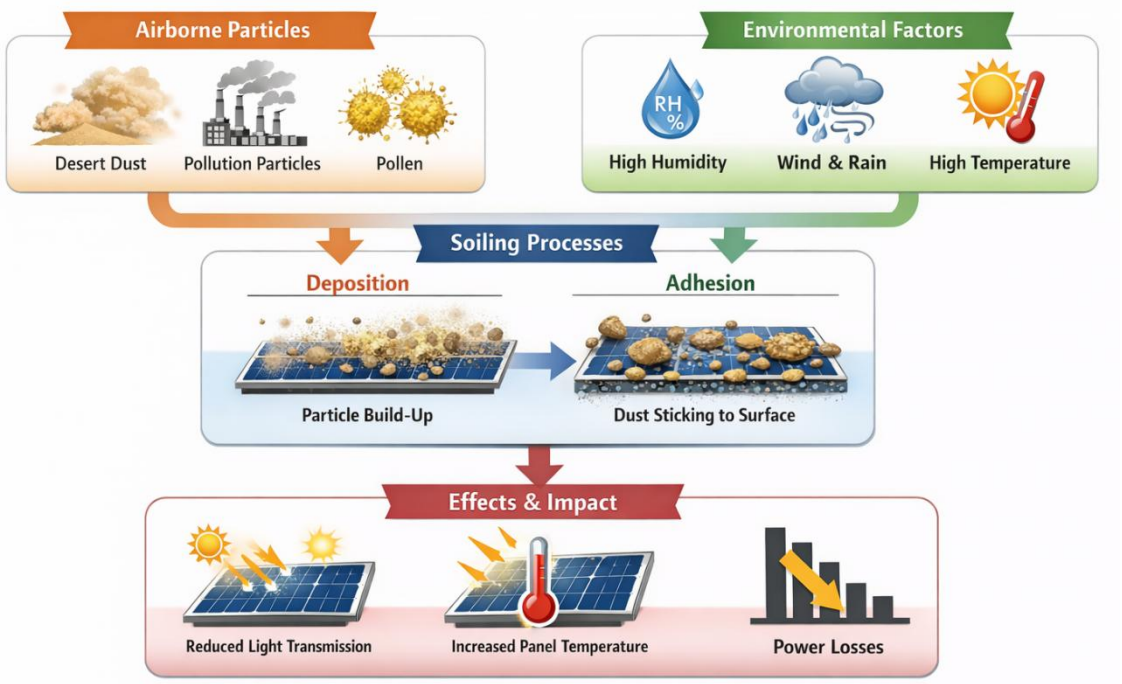


Figure 1. Schematic representation of soiling mechanisms and key environmental factors affecting PV performance

One of the most direct consequences of soiling is the reduction in electrical energy output due to decreased optical transmittance of the module glass. Experimental studies have shown that dust deposition leads to both scattering and absorption of incident solar radiation, thereby reducing the effective irradiance reaching the solar cells. Long-term outdoor measurements reveal that even relatively thin dust layers can result in measurable power losses, which accumulate over time if cleaning is not performed regularly [18]. The type and composition of deposited dust significantly influence soiling severity. Different dust types exhibit distinct optical and adhesion properties, leading to varying levels of performance degradation. Controlled experimental investigations on solar glass surfaces demonstrate that fine particles tend to form more uniform and compact layers, causing higher transmittance losses compared to coarse particles. Additionally, mineralogical composition affects how strongly dust adheres to the glass surface, influencing the effectiveness of natural or artificial cleaning processes [19].

Environmental conditions further modulate soiling behavior and accumulation rates. Studies conducted in desert climates indicate that high dust availability combined with limited precipitation leads to rapid soiling accumulation and substantial energy losses. Economic assessments carried out under such conditions show that soiling not only reduces power generation but also has a direct impact on the financial performance of PV plants, emphasizing the importance of optimized cleaning strategies in arid regions [20]. Meteorological factors such as humidity, temperature, wind speed, and rainfall play a crucial role in both dust deposition and removal mechanisms. Elevated humidity levels enhance capillary forces between particles and the glass surface, increasing adhesion strength and making dust layers more resistant to removal. Statistical analyses based on long-term field data confirm that environmental parameters must be considered jointly when assessing soiling rates and planning

maintenance schedules for PV systems [21]. Beyond optical effects, soiling also influences the thermal and electrical behavior of PV modules. Recent modeling studies incorporating coupled optical, thermal, and electrical analyses demonstrate that soiling-induced irradiance reduction can alter cell temperature distributions and electrical operating conditions. These interactions may further exacerbate performance losses, particularly under high irradiance and temperature conditions. International assessments across different climatic zones highlight that the combined opto-thermal-electrical impact of soiling varies significantly with environmental conditions, reinforcing the need for climate-specific soiling mitigation strategies [22].

The soiling mechanisms are governed by a combination of particle properties, environmental factors, and system-level interactions. Dust composition, meteorological conditions, and PV module characteristics collectively determine the rate and severity of soiling-related performance losses. A thorough understanding of these mechanisms is essential for accurately quantifying energy yield reductions and for developing effective cleaning and maintenance strategies, which are discussed in the subsequent sections.

3. SOILING EFFECTS ON PV PERFORMANCE

Soiling on PV modules directly impacts energy production by reducing the effective solar irradiance reaching the cells and influencing module temperature and electrical performance. Even moderate dust accumulation can cause energy yield reductions of 5–15% over a few weeks in semi-arid regions, while severe dust events may lead to losses of up to 20–25% [23-24]. As illustrated in Figure 2, arid and semi-arid regions across the world are particularly prone to dust accumulation due to their dry climates, limited rainfall, and high wind activity. These environmental conditions significantly intensify soiling rates on photovoltaic modules, underscoring the need for adaptive cleaning and maintenance strategies in such areas. Such reductions significantly affect both operational efficiency and the financial viability of PV systems. The primary optical effect of soiling is a decrease in short-circuit current, while open-circuit voltage remains largely stable. Field studies in sub-tropical climates indicate that panels with moderate dust accumulation can experience 10–12% reduction in current, translating to proportional reductions in maximum power output [25-26]. Additionally, dust layers increase module temperature by 2–4 °C, which further reduces conversion efficiency by approximately 1–2%. These combined optical and thermal effects highlight the importance of monitoring environmental factors that accelerate soiling.

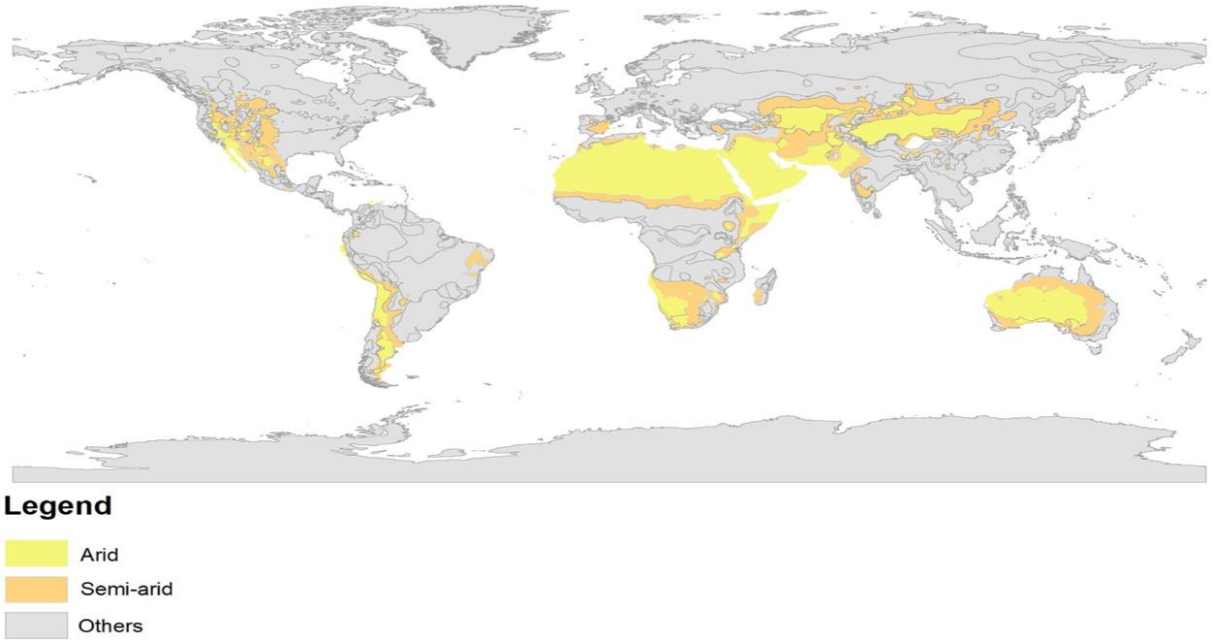


Figure 2. Global distribution of arid and semi-arid regions highlighting areas most susceptible to soiling effects on photovoltaic systems [23].

Panel orientation and tilt are key design considerations affecting soiling accumulation. Panels mounted at tilt angles below 20° generally exhibit higher dust deposition and subsequent energy losses compared to steeper-mounted modules [25]. Non-uniform soiling patterns can create electrical mismatches among cells, occasionally causing hotspots and localized efficiency drops of 3–5% [26]. Such phenomena underscore the importance of incorporating both environmental data and system design parameters in predictive performance models. Economic consequences of soiling are substantial in large-scale PV plants. Annual energy losses can reach 3–7% of total expected yield, depending on site-specific dust characteristics and rainfall patterns, which may translate into significant reductions in revenue if regular cleaning is not implemented [27-28]. Advanced opto-thermal-electrical models demonstrate that the magnitude of performance loss is dependent on dust density, composition, and climatic conditions, enabling more accurate forecasting of energy and financial impacts. The soiling influences PV module performance through a combination of optical attenuation, thermal effects, and electrical mismatch. Maintaining appropriate cleaning schedules, optimizing panel tilt, and integrating site-specific environmental data are essential for minimizing energy losses and ensuring sustainable PV system operation [29–30].

4. OVERVIEW OF CLEANING TECHNOLOGIES

Maintaining optimal performance of PV systems requires regular cleaning to mitigate the negative effects of soiling. Cleaning technologies for solar panels can be broadly categorized into conventional, automated/robotic, and waterless or low-water methods. Conventional cleaning typically involves manual labor using brushes, squeegees, and water-based washing solutions. While effective for small installations, these methods are labor-intensive, time-consuming, and often impractical for large-scale solar farms. Automated and robotic cleaning

systems have emerged as a solution to reduce human intervention and improve efficiency. These systems can be programmed to operate at regular intervals, adapt to different panel layouts, and maintain consistent cleaning quality across extensive PV arrays. Robotic solutions are especially valuable in regions where labor costs are high or environmental conditions make manual cleaning difficult.

In addition to mechanical approaches, waterless and low-water cleaning technologies are gaining attention for their sustainability benefits. Techniques such as electrostatic dust removal, air-blowing mechanisms, and vibration-induced particle detachment allow for effective cleaning without significant water consumption. These methods are particularly advantageous in arid and semi-arid regions, where water scarcity limits the use of conventional cleaning methods. Selecting an appropriate cleaning technology involves evaluating the installation scale, environmental conditions, resource availability, and economic considerations. A carefully designed cleaning strategy not only helps restore energy yield but also supports the long-term durability and reliable operation of PV systems.

4.1. Conventional Solar Panel Cleaning Methods

Conventional cleaning methods for PV panels have historically relied on manual and water-based cleaning techniques, typically involving brushes, detergents, or pressurized water systems. These methods are widely used due to their simplicity and accessibility, but they present several challenges such as high water consumption, labor costs, and potential for mechanical damage to panel surfaces. Studies have shown that traditional manual cleaning can recover up to 20–30% of energy losses caused by dust accumulation, but it is often impractical for large-scale solar farms [31]. The use of water-based cleaning systems remains one of the most common practices globally. However, in arid regions where water scarcity is a critical issue, these systems are increasingly being reconsidered. Research indicates that conventional wet cleaning methods not only consume significant water resources but also risk creating micro-scratches on panel surfaces, reducing their long-term efficiency [32]. As shown in Figure 3, traditional manual cleaning methods rely heavily on human labor, using water, brushes, and squeegees to remove accumulated dust and debris from PV module surfaces. While such techniques are simple and effective for small installations, they are inefficient and unsustainable for large-scale PV plants.



Figure 3. Traditional manual cleaning process of PV modules [32].

Manual cleaning methods, while effective in smaller installations, suffer from operational inefficiency and safety hazards, especially in utility-scale PV plants. As outlined by [33], conventional mechanical cleaning using brushes or wipers is labor-intensive and subject to inconsistencies in cleaning quality. Moreover, improper handling can cause micro-abrasions on the panel glass, leading to reduced optical transmission and long-term degradation of module performance.

Another major issue with conventional cleaning techniques is their dependence on environmental conditions. Studies have found that humidity, dust particle size, and temperature can significantly influence the effectiveness of manual cleaning operations [34]. For example, in regions with fine particulate dust or high humidity, simple water rinsing may not effectively remove adhered layers of contaminants, necessitating more frequent cleaning cycles and increasing operational costs. Furthermore, experimental comparisons between conventional and automated systems demonstrate that manual and semi-automatic water-based cleaning, while capable of improving performance in the short term, are significantly less efficient than modern alternatives. According to [35], semi-automatic cleaning methods using minimal water achieved only a 1.2–3% increase in panel efficiency—substantially lower than gains achieved through robotic or electrostatic systems. This finding highlights the diminishing practicality of conventional cleaning in large-scale installations.

The conventional PV panel cleaning methods—mainly manual and water-based techniques—continue to be applied on a wide scale; however, they are increasingly regarded as inefficient, resource-demanding, and environmentally unsustainable within the context of modern solar energy operations. The limitations in water use, labor demand, and cleaning consistency underscore the necessity for innovation toward automated, dry, or hybrid cleaning approaches that can meet the operational demands of large-scale solar farms with minimal environmental impact.

4.2. Automated and Robotic Cleaning Technologies

The continuous growth of large-scale PV installations has intensified the demand for efficient, autonomous, and water-saving cleaning systems. Traditional manual methods are no longer viable for utility-scale plants, leading to the development of automated and robotic cleaning technologies that ensure consistent panel performance with minimal human intervention. These systems integrate robotics, sensor technologies, and artificial intelligence to enhance cleaning efficiency, operational safety, and environmental sustainability [36]. Figure 4 illustrates the prototype of the developed robotic cleaning unit mounted on a PV module.

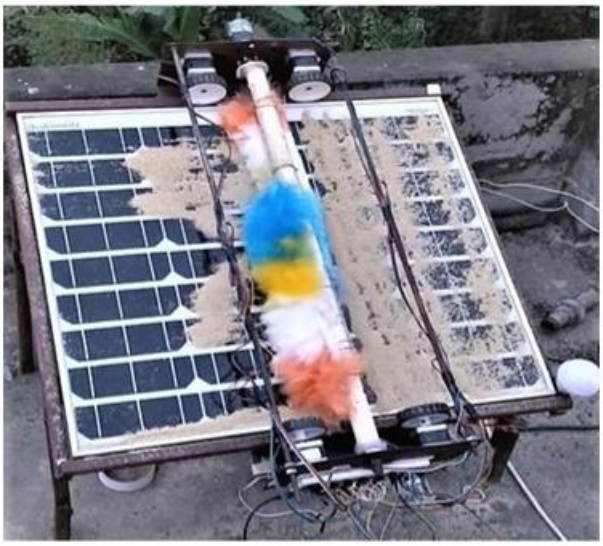


Figure 4. Prototype of the developed robotic cleaning unit mounted on a PV module [36].

Modern robotic cleaners employ multiple mechanisms such as rotating brushes, high-pressure air jets, or electrostatic dust removal systems to effectively eliminate particulate deposits without damaging the PV surface. Recent advancements in IoT-enabled automation allow remote operation, real-time performance monitoring, and predictive maintenance, optimizing both cleaning frequency and energy yield [37]. The integration of IoT with machine learning algorithms has enabled the development of “smart” robots that can adapt their cleaning routes according to dust density and environmental conditions, resulting in higher operational efficiency in desert or industrial regions.

Mechanical stability and vibration control have become major design considerations for mobile cleaning units operating across large PV arrays. The adoption of multi-suspension frameworks has demonstrated significant improvements in minimizing panel surface vibrations and mechanical stress during robotic cleaning, thereby extending the operational life of PV modules [38]. Figure 5 shows two PV panels connected in series to evaluate the effect of the multi-damper unit during robotic cleaning. Similarly, lightweight autonomous robots with compact structures have been engineered to traverse inclined or uneven PV surfaces, reducing cleaning time and improving coverage accuracy [39].



Figure 5. Two PV panels connected in series for investigating the effect of the multi-damper unit during the operation of the solar panel cleaning robot [38]

Recent designs emphasize modularity and versatility, allowing a single robotic system to be deployed across diverse PV configurations. For instance, [40] introduced a versatile robotic cleaner equipped with adaptive sensors and adjustable frames, capable of operating efficiently across various panel layouts and tilt angles. This adaptability enhances cost-effectiveness and scalability, particularly for large solar farms with mixed panel geometries [40]. These advancements mark a significant step toward sustainable and autonomous PV maintenance. Automated and robotic cleaning systems not only minimize water and labor requirements but also contribute to stable energy generation and reduced operational downtime, aligning with the broader goal of maximizing renewable energy efficiency in diverse climatic conditions.

4.3. Waterless and Dry-Cleaning Technologies

As PV deployment expands into arid and semi-arid regions, water scarcity and maintenance costs have driven the development of waterless and dry-cleaning technologies. These systems are designed to maintain panel efficiency without relying on traditional water-based cleaning, thereby improving sustainability and operational continuity in resource-limited environments.

One of the most practical waterless approaches involves mechanical air-jet and brush-based systems, which use controlled airflow and flexible cleaning elements to remove particulate matter. Such designs eliminate the need for water and detergents while maintaining cleaning efficiency comparable to wet methods. Experimental prototypes have shown that automated waterless systems can enhance the output power of PV modules by more than 25% under dusty conditions, demonstrating both environmental and operational advantages [41]. Figure 6 presents the developed prototype of the automated waterless solar panel cleaning system.

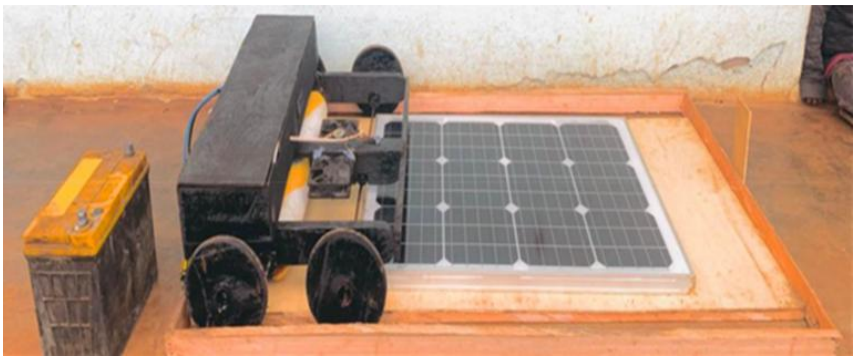


Figure 6. Experimental prototype of the proposed automated waterless solar panel cleaning system [41]

Complementary to mechanical methods, self-cleaning coatings have emerged as a promising passive solution. Nanostructured hydrophobic and superhydrophilic surfaces reduce the adhesion of dust particles and facilitate their removal by natural forces such as wind or gravity. A recent study on TiO_2–SiO_2–PAA nanocomposite coatings demonstrated durable superhydrophilic behavior with long-term outdoor stability, resulting in enhanced power generation over extended operational periods [42]. Similarly, PDMS/SiO_2 hydrophobic nanocoatings have been shown to significantly reduce surface contamination and improve light transmittance, leading to efficiency increases exceeding 30% [43].

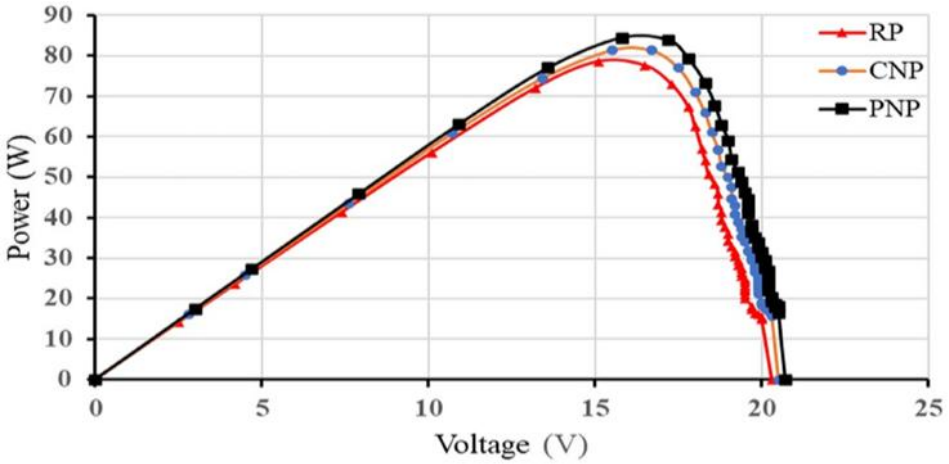


Figure 7. Comparison of P–V characteristics of the reference panel, commercial nanocoated panel, and prepared nanocoated panel. [43]

Recent innovations in nanofibrous TiO_2-based coatings have also gained attention. Electrospun SiO_2-modified TiO_2 thin films combine high optical transmittance with self-cleaning capability, effectively reducing soiling density on PV surfaces without the need for active intervention [44]. These coatings not only preserve panel transparency but also improve durability under harsh environmental exposure.

In addition to coating technologies, electrostatic cleaning systems have emerged as an innovative dry method for dust removal. A novel configuration proposed by [45] employs electrodes placed on the back surface of the panel rather than the front glass, preventing shading

losses and enhancing field uniformity. This back-electrode arrangement effectively removed fine dust with lower voltage requirements, achieving higher energy efficiency compared to conventional front-surface electrostatic systems [45]. Figure 8 illustrates the experimental setup used for electrostatic dust removal from PV panel glass surfaces.

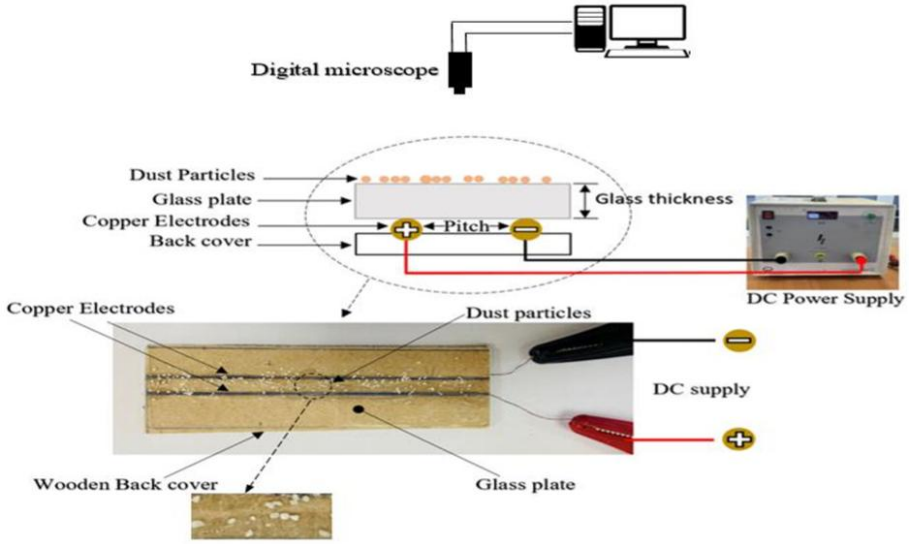


Figure 8. Schematic illustration of the experimental setup for electrostatic dust removal from the glass surface of PV panels. [45].

The advancement of waterless and dry-cleaning systems—including mechanical, coating-based, and electrostatic approaches—offers a sustainable pathway for maintaining PV performance while minimizing environmental impact. These technologies significantly reduce water consumption, extend module lifetime, and improve energy yield, making them essential for the next generation of solar energy maintenance solutions.

5. CONCLUSION

The continuous evolution of PV cleaning technologies reflects a crucial intersection between technological innovation, environmental sustainability, and energy efficiency. As demonstrated throughout this study, the accumulation of dust and other particulates remains one of the primary operational challenges affecting PV performance across diverse climatic zones. The comparative review of existing literature and recent advancements reveals that while conventional manual and water-based cleaning methods remain prevalent, they are increasingly recognized as unsustainable due to high labor intensity, inconsistent cleaning quality, and excessive water consumption. Automated and robotic cleaning systems have emerged as a transformative solution, integrating artificial intelligence, IoT-based monitoring, and adaptive mechanical design to ensure consistent, safe, and efficient maintenance of large-scale PV installations. These systems significantly reduce operational costs and human intervention while maintaining high cleaning effectiveness, even under harsh environmental conditions. At the same time, waterless and dry-cleaning technologies—including electrostatic removal systems and advanced hydrophobic or photocatalytic coatings—have proven particularly beneficial in arid and semi-arid regions, offering sustainable alternatives that conserve

resources without compromising performance. The findings highlight that no single cleaning strategy can universally address all environmental and operational constraints. Instead, the future of PV maintenance lies in hybrid, site-specific solutions that integrate automated operation, smart control algorithms, and surface engineering innovations. Continued interdisciplinary research—spanning materials science, robotics, and environmental engineering—will be essential to optimize cleaning frequency, enhance coating durability, and improve energy yield prediction models. The widespread adoption of intelligent, water-efficient, and cost-effective cleaning technologies will play a decisive role in ensuring the long-term reliability, economic viability, and environmental sustainability of global solar energy systems. Such advancements not only enhance PV performance but also contribute directly to achieving broader renewable energy and climate resilience goals.

.

REFERENCES

1. Shahzad, N., Hussain, N., Umar, S., Azam, M. F., Yousaf, T., Waqas, A. Impacts of soiling on solar panel performance and state-of-the-art effective cleaning methods: A recent review, Journal of Cleaner Production, March, 497, 145119, 2025.

2. Sharma, S., Malik, P., Sinha, S. The impact of soiling on temperature and sustainable solar PV power generation: A detailed analysis, Renewable Energy, 237, 121864, 2024.

3. Islam, M. D., Mamun, K. A., Sajjad, R. N., Khan, M. R. Experimental study of effects of soiling on various solar panel tilts in a sub-tropical climate in South Asia, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 69, 103890, 2024.

4. Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., Hajighorbani, S. Power loss due to soiling on solar panel: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 1307–1316, 2016.

5. Goel, S., Panda, S., Kumar, N. M., Sharma, R. Effect of soiling on power output of a photovoltaic system, Innovation in Electrical Power Engineering, Communication, and Computing Technology (IEPCCT 2019) Proceedings, 351–359, Singapore, 2020.

6. Mishra, E., Sreejith, S., Patil, G. H. Soiling Losses Estimation in Solar Panels Using Different Analytical Methods, 3rd International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC), 189–194, IEEE, 2024.

7. Chanchangi, Y. N., Ghosh, A., Baig, H., Sundaram, S., Mallick, T. K. Soiling on PV performance influenced by weather parameters in Northern Nigeria, Renewable Energy, 180, 874–892, 2021.

8. Murshiduzzaman, A., Keong, L. W., Yussof, H. Z. Structural prowess in solar panel cleaning: A comparative study of robotic designs, Journal of Applied Research and Technology, 22, 536–547, 2024.

9. Luo, J., Zhang, Y., Li, H., Wang, X. A photovoltaic panel cleaning robot with a lightweight YOLOv8, Frontiers in Robotics and AI, 12, 1606774, 2025.

10. Kishor, I., Verma, A., Singh, R., Patel, M. AI-integrated autonomous robotics for solar panel cleaning and predictive maintenance using drone and ground-based systems, Scientific Reports, 15, 17313, 2025.

11. Alghamdi, A. S., Bahaj, A. S., Blunden, L. S., Wu, Y. Dust removal from solar PV modules by automated cleaning systems, Energies, 12, 2923, 2019.

12. Najmi, N., Rachid, A. A review on solar panel cleaning systems and techniques, Energies, 16, 7960, 2023.

13. Antonelli, M. G., Beomonte Zobel, P., De Marcellis, A., Palange, E. Autonomous robot for cleaning photovoltaic panels in desert zones, Mechatronics, 68, 102372, 2020.

14. Kawamoto, H., Guo, B. Improvement of an electrostatic cleaning system for removal of dust from solar panels, Journal of Electrostatics, 91, 28–33, 2018.

15. Quan, Y. Y., Zhang, L. Z. Experimental investigation of the anti-dust effect of transparent hydrophobic coatings applied for solar cell covering glass, Solar Energy Materials and Solar Cells, 160, 382–389, 2017.

16. Fernández Solas, Á., Riedel-Lyngskær, N., Hanrieder, N., Norde Santos, F., Wilbert, S., Nygård Riise, H., Polo, J., Fernández, E. F., Almonacid, F., Talavera, D. L., Micheli, L. Photovoltaic soiling loss in Europe: Geographical distribution and cleaning recommendations, Renewable Energy, April, 239, 122086, 2025.

17. Agbogla, J., Sekyere, C. K. K., Forson, F. K., Opoku, R. Soiling estimation methods in solar photovoltaic systems: Review, challenges and future directions, Results in Engineering, April, 26, 104810, 2025.

18. Sayyah, A., Horenstein, M. N., Mazumder, M. K. Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels, Solar Energy, March, 107, 576–604, 2014.

19. Willers, G., Rashad, M., Al-Shuja'a, O. Impact of different types of dust on solar glass and photovoltaic module performance, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, August, 33, 8, 844–853, 2025.

20. Zeedan, A., Barakeh, A., Al-Fakhroo, K., Touati, F., Gonzales, A. S. P. Quantification of photovoltaic power and economic losses due to soiling in Qatar, Sustainability, March, 13, 3364, 2021.

21. Brahma, H., Pant, S., Micheli, L., Smestad, G. P., Sarmah, N. Effect of environmental factors on photovoltaic soiling: Experimental and statistical analysis, Energies, January, 16, 45, 2023.

22. Alkharusi, T., Russo, G., Oyeniran, A., Pandey, C., Buonomano, A., Palombo, A., Markides, C. N. Quantifying the influence of soiling on PV module energy production based on a coupled opto-thermal-electrical model: An international assessment in different climatic conditions, Renewable Energy, January, 256, 124119, 2026.

23. Adekanbi, M. L., Alaba, E. S., John, T. J., Tundealao, T. D., Banji, T. I. Soiling loss in solar systems: A review of its effect on solar energy efficiency and mitigation techniques, Cleaner Energy Systems, April, 7, 100094, 2024.

24. Al Siyabi, I., Chala, G. T., Sulaiman, S. A., Chen, X. A study on the performance of soiled solar photovoltaic panels under different tilt angles, Energies, January, 18, 301, 2025.

25. Ammari, N., Mehdi, M., Alami Merrouni, A., El Gallassi, H., Chaabelasri, E., Ghennioui, A. Experimental study on the impact of soiling on the modules temperature and performance of two different PV technologies under hot arid climate, Heliyon, November, 8, e11395, 2022.

26. Jendar, G. A., Al-Rubaye, L. A. H., Abdulrahman, I. S., Hassan, Q. H. Experimental investigation of soiling effects on photovoltaic modules energy generation, Energy Harvesting and Systems, September, 10, 123–134, 2022.

27. Dinçer, F., Cutay, O. Efficiency analysis of solar power plants: The impact of temperature, soiling, and panel aging on energy generation, International Journal of Energy Studies, September, 10, 807–826, 2025.

28. Hussain, N., et al. Study of soiling on PV module performance under environmental variations, Solar Energy, 2022.

29. Yadav, D., et al. Experimental analysis of elevated temperature and soiling loss on rooftop PV modules performance under composite climatic conditions, Scientific Reports, 2025.

30. AlZahrani, K. S. Experimental investigation of soiling impact on PV module performance in Yanbu Al Sinaiyah, Saudi Arabia, Renewable Energy, November, 216, 119117, 2023.

31. Lamont, L. A., Chaar, L. E. Automatic versus manual solar panel cleaning for remote locations, Journal of Technology Innovations in Renewable Energy, May, 2, 98–105, 2013.

32. Akkoyunlu, M. T., Abdallatif, Y. A comprehensive investigation of solar panel cleaning technologies: a review study, Journal of Thermal Engineering, November, 10, 1715–1741, 2024.

33. Mondal, S., Mondal, A. K., Sharma, A., Devalla, V., Rana, S., Kumar, S., Pandey, J. An overview of cleaning and prevention processes for enhancing efficiency of solar photovoltaic panels, Current Science, September, 115, 1065–107, 2018.

34. Khadka, N., Bista, A., Adhikari, B., Shrestha, A., Bista, D., Adhikary, B. Current practices of solar photovoltaic panel cleaning system and future prospects of machine learning implementation, IEEE Access, 8, 135948–135962, 2020.

35. Katakam, S. M., Atheaya, D., Aligireddy, S. R., Guptaa, Y., Bhukhari, A. A. Experimental investigation of photovoltaic module system coupled with solar panel cleaning system, Vibroengineering Procedia, 29, 219–224, 2019.

36. Khadka, N., Bista, A., Adhikari, B., Shrestha, A., Bista, D. Smart solar photovoltaic panel cleaning system, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 463, 012121, 2019.

37. Ahmed, M. G., Sharif, A. A. Enhancing photovoltaic panel efficiency with an IoT-enabled robotic cleaning system – A comprehensive review, Engineering and Technology Journal, 8(6), 1–9, 2023.

38. Le, N. T., Nguyen, M. D., Phan, T. D., Truong, C. T., Duong, V. T., Nguyen, H. H., Nguyen, T. T. Development of a multi-suspension unit for solar cleaning robots to mitigate vibration impact on photovoltaic panels, Applied Sciences, 13(22), 12104, 2023.

39. Hassan, M. U., Nawaz, M. I., Iqbal, J. Towards autonomous cleaning of photovoltaic modules: Design and realization of a robotic cleaner, Proceedings of the International Conference on Latest Trends in Electrical Engineering and Computing Technologies (INTELLECT), 1–6, 2017.

40. Zhang, R., Hu, Z., Su, Y., Wu, Q., Shi, H., Lu, R., Liu, C., Chen, C., Hu, J., Zhang, Y. Convenient photovoltaic panel cleaning robot suitable for cleaning operations in various types of photovoltaic scenarios, Proceedings of the 5th International Symposium on Robotics & Intelligent Manufacturing Technology (ISRIMT), 107–110, 2023.

41. Nkinyam, C. M., Ujah, C. O., Nnakwo, K. C., Ezeudu, O. B., Kallon, D. V. V., Ike-Eze, C. E. Design and Implementation of a Waterless Solar Panel Cleaning System, Unconventional Resources, 5, 100131, 2025.

42. Yang, L., Yang, J., Yang, D. A durable superhydrophilic self-cleaning coating based on TiO_2–SiO_2-PAA nanocomposite for photovoltaic applications: Long-term outdoor study, Solar Energy Materials and Solar Cells, 268, 112731, 2024.

43. Tayel, S. A., Abu El-Maaty, A. E., Mostafa, E. M., & Elsaadawi, Y. F. Enhance the performance of photovoltaic solar panels by a self-cleaning and hydrophobic nanocoating, Scientific Reports, 12, 21236, 2022.

44. Batool, I., Shahzad, N., Shahzad, R., Satti, A. N., Liaquat, R., Waqas, A., Shahzad, M. I. Self-cleaning study of SiO_2 modified TiO_2 nanofibrous thin films prepared via electrospinning for application in solar cells, Solar Energy, 268, 112271, 2024.

45. Abd-Elhady, M., Ali, A. R., Singh, R. P., Ibrahim, M., Kandil, H. A new approach of electrostatic cleaning for removing dust from solar panels, Journal of Engineering Science and Sustainable Industrial Technology, 6, 44–53, 2022.

PARAMETRİK TASARIM VE DİJİTAL ÖZELLEŞTİRME YAKLAŞIMIYLA TEKİL BİR OTURMA ELEMANININ HESAPLAMALI TASARIMI

Doç. Dr. Seval ÖZGEL FELEK
Ordu Üniversitesi
sevalozgelfelek@odu.edu.tr- 0000-0003-4628-1058

ÖZET

Hesaplamalı tasarım ve dijital özelleştirme yaklaşımları hem tasarım hem de üretim süreçlerinin otomasyonunu mümkün kılarak çağdaş mobilya tasarımında giderek daha etkili hale gelmektedir. Bu çalışma, Rhinoceros 3D ve Grasshopper kullanılarak geliştirilen, tek bir oturma elemanına—özelleştirilebilir bir tabureye—odaklanan parametrik bir tasarım çerçevesi sunmaktadır. Mobilya sistemleri ya da çoklu ürün ailelerini ele alan çalışmalardan farklı olarak, bu araştırma dijital özelleştirmenin potansiyelini tekil bir mobilya nesnesi üzerinden incelemektedir.

Önerilen çerçeve kapsamında, kullanıcılar oturma yüksekliği, oturma yüzeyi çapı, ayak eğim açısı, yapısal kalınlık ve malzeme seçimi gibi temel tasarım parametrelerini tanımlayabilmektedir. Bu parametreler doğrultusunda geliştirilen algoritma; tamamen parametrik bir üç boyutlu modelin yanı sıra teknik çizimlerini de oluşturmaktadır. Çalışma, tek bir mobilya elemanına odaklanmanın; hesaplamalı tasarımın etkinliğini, üretilebilirliği ve tasarım esnekliğini değerlendirmek için kontrollü bir araştırma ortamı sunduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda özelleştirilebilir oturma elemanı için bir yazılım eklentisi de oluşturulmuştur.

Elde edilen bulgular, parametrik modellemenin tasarım süresini önemli ölçüde azalttığını, kitle özelleştirme potansiyelini artırdığını ve tasarım–üretim aşamaları arasındaki iletişimi güçlendirdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, tekil mobilya nesnelerine yönelik hesaplamalı tasarım çalışmalarının, daha kapsamlı mobilya sistemleri ve dijital üretim iş akışları için ölçeklenebilir birer prototip niteliği taşıdığı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı tasarım, Parametrik mobilya, Dijital özelleştirme, Grasshopper, Rhinoceros 3D

1. GİRİŞ

Mobilya endüstrisi, dijital teknolojiler, hesaplamalı tasarım yöntemleri ve kişiselleştirilmiş ürünlere yönelik artan talep doğrultusunda önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Geleneksel mobilya tasarım süreçleri çoğunlukla sabit geometrilere ve manuel müdahalelere dayandığından, kitlesel özelleştirme için gerekli olan esnekliği sınırlamaktadır. Buna karşılık, özellikle parametrik modellemeyi temel alan hesaplamalı tasarım yaklaşımları, tasarım mantığı ve kısıtların doğrudan dijital modellere entegre edilmesini mümkün kılarak alternatif bir çözüm sunmaktadır.

Son yıllarda, Rhinoceros 3D için geliştirilen Grasshopper gibi görsel programlama ortamları, geometrik akıl yürütme, malzeme kısıtları ve üretim mantığının tek bir parametrik çatı altında bütünleştirilmesine olanak tanımıştır. Bu bütünleşik yapı, yapısal ve işlevsel tutarlılığı korurken tasarım varyasyonlarının hızlı bir şekilde üretilmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda dijital özelleştirme, kullanıcı tercihleri ile endüstriyel üretim olanakları arasında köprü kuran temel bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Literatürde birçok çalışma mobilya sistemleri ya da modüler ürün aileleri üzerine odaklanırken, tek bir mobilya elemanının hesaplamalı potansiyelini ayrıntılı biçimde ele alan araştırmalar görece sınırlıdır. Oysa tek nesneye odaklanan çalışmalar, çok bileşenli sistemlerin karmaşıklığına girmeden, bir ürünün parametre tanımlamasından üretim çıktısına kadar uzanan tüm yaşam döngüsünün bütüncül olarak incelenmesine olanak tanımaktadır. Oturma elemanları, özellikle de sandalyeler, ergonomik hassasiyetleri, yapısal gereklilikleri ve yaygın kullanımları nedeniyle bu tür araştırmalar için uygun bir çalışma alanı sunmaktadır.

Bu çalışma, tek bir parametrik oturma elemanı üzerinden hesaplamalı bir tasarım çerçevesi önermekte ve dijital özelleştirme ilkelerinin tek bir mobilya nesnesi ölçeğinde nasıl uygulanabileceğini araştırmayı amaçlamaktadır. Araştırma, mevcut dijital özelleştirme yaklaşımlarını temel almakta ve bu yaklaşımları örnek bir olay çalışması üzerinden tartışmaktadır.

2. ALANYAZINDAKİ GÜNCEL DURUM

Mobilya tasarımında parametrik ve hesaplamalı yaklaşımlar son yıllarda hızla artan bir ilgi görmektedir. Bu yaklaşımlar, geleneksel bilgisayar destekli tasarım tabanlı yöntemlerde zor veya zaman alıcı olan karmaşık geometrik formların, parametre tabanlı varyasyonların ve kullanıcı odaklı özelleştirmelerin daha etkin biçimde işlenmesini sağlamaktadır (Martín-Mariscal, 2025). Parametrik tasarım araçları, özellikle Grasshopper gibi görsel programlama ortamları aracılığıyla tasarım mantığını modele doğrudan entegre ederek form üretimini hızlandırmanın yanı sıra standartlaştırılmış ürün aileleri yaratma imkânı da sunmaktadır (Martín-Mariscal, 2025).

Parametrik mobilya tasarım uygulamaları genellikle sistem odaklıdır; raf sistemleri, modüler depolama birimleri ve çalışma masaları gibi çoklu bileşen içeren ürünlere odaklanmaktadır. Bu yaklaşım tasarım varyasyonlarını ölçeklendirilebilir hale getirirken, aynı zamanda

parametrelerin üretim süreçlerine entegrasyonu için kaçınılmaz bir temel sağlamaktadır (Manavis, 2024). Ancak, bu sistem odaklı çalışmalar genellikle tekil ürünlerin bütüncül dijital süreçlerini (tasarım → dokümantasyon → üretim çıktıları) ayrıntılı şekilde incelememektedir.

Oturma elemanları, özellikle sandalyeler, parametrik tasarım literatüründe ergonomi, şekil gramerleri ve kullanıcı verisine dayalı kişiselleştirme eksenlerinde incelenmiştir. Bu çalışmalar parametrik modeller aracılığıyla çok sayıda tipoloji üretmenin ötesinde, kullanıcı antropometrisi gibi verilerle formun optimize edilmesine olanak tanımaktadır (Wu, 2024). Örneğin insan verisi tabanlı parametre setleri, sandalyelerin farklı kullanıcı tipolojilerine göre otomatik olarak uyarlanabilmesini sağlar ki bu yaklaşım kitlesel özelleştirmenin ergonomik boyutunu güçlendirmektedir (Yuan & al., 2024). Ancak bu araştırmalarda da genellikle üretime hazır teknik çizim, malzeme listesi ve montaj dokümantasyonu gibi üretim sonrası çıktılar ikinci planda kalmaktadır.

Son yıllarda parametrik tasarımın üretim aşamasına entegrasyonuna ilişkin araştırmalar, tasarım sonrası süreçlerin otomasyonu üzerinde yoğunlaşmaktadır. Teknik çizimler, malzeme listeleri ve montaj yönergeleri gibi çıktılar parametrik modelden otomatik olarak üretilerek tasarım–imalat arasındaki bilgi kayıpları minimize edilmekte ve üretim verimliliği artırılmaktadır (Manavis, 2024). Bu gelişme, parametrik tasarımın yalnızca form yaratmadaki rolünü genişletmekte; aynı zamanda dijital üretim süreçlerine doğrudan bağlanabilen bir uçtan uca dijital iş akışına dönüşmesine katkı sağlamaktadır.

Buna rağmen literatürdeki büyük eğilim, mobilya sistemleri veya modüler ürün aileleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Tek bir ürün öğesinin—özellikle tek bir oturma elemanının—parametrik süreç içinde kullanıcı girdilerinden başlayarak malzeme seçimleri, hatta üretim çizimlerine kadar tüm yaşam döngüsüyle ele alındığı çalışmalar nispeten sınırlıdır. Bu boşluk, parametrik iş akışlarının detaylı uygulanabilirliğinin ve tekil tasarım öğelerinin dijital özelleştirilmesinin daha derin analiz edilmesini gerektirmektedir.

Bu araştırma, belirtilen boşluğu hedefleyerek tek bir parametrik oturma elemanının dijital özelleştirilmesini incelemektedir ve bu özelleştirmeyi kullanıcı odaklı bir yazılım eklentisi ile sonuçlandırmayı amaçlamaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın deneysel çerçevesi, hesaplamalı tasarım ilkeleri ve görsel programlama teknikleri üzerine kurulmuştur. Araştırma kapsamında geliştirilen iş akışı; parametre tanımlama, parametrik modelleme, tasarım sonrası çıktılarının otomasyonu ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere dört ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, tek bir mobilya elemanının dijital ortamda tasarım, özelleştirme ve üretime hazırlık süreçlerinin bütüncül olarak ele alınmasını amaçlamaktadır.

3.1. Hesaplamalı Tasarım Ortamı

Parametrik oturma elemanı modeli, aşağıdaki yazılım ortamları kullanılarak geliştirilmiştir:
Rhinoceros 3D: Geometrik modelleme
Grasshopper: Görsel programlama ve algoritmik kontrol

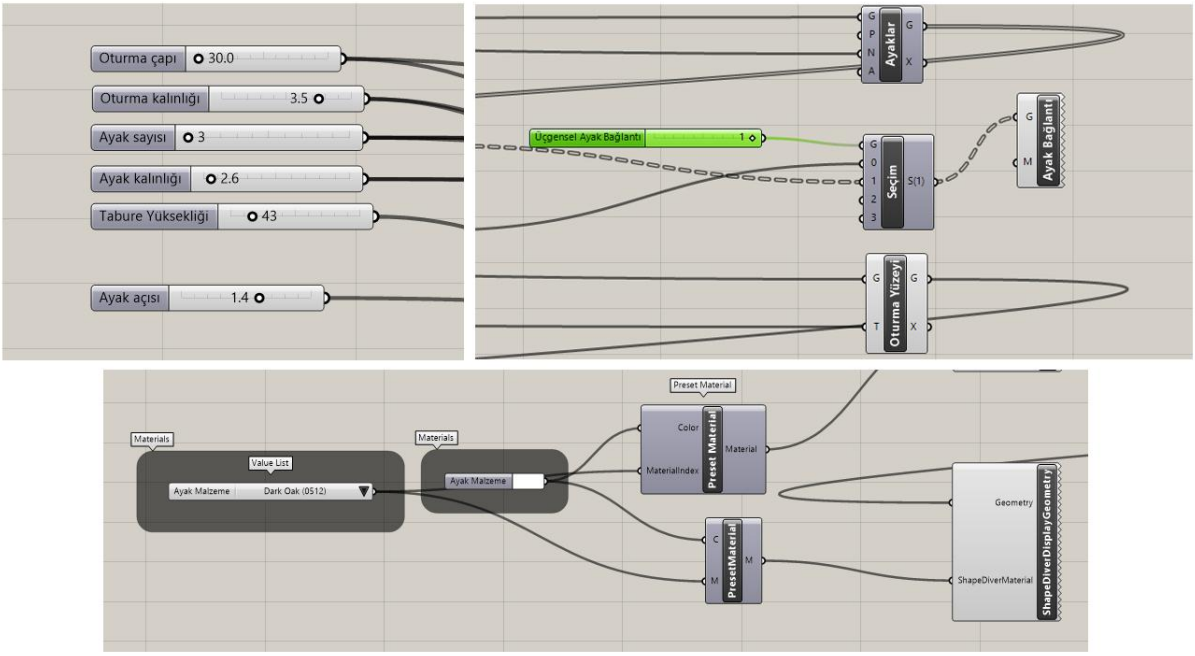
Bu yazılım kombinasyonu, kullanıcı tarafından tanımlanan parametrelerde yapılan değişikliklerin geometrik modele anlık olarak yansımasını sağlayarak yinelemeli (iteratif) tasarım sürecini desteklemektedir. Böylece tasarım kararları, biçimsel sonuçlar ve yapısal etkiler eş zamanlı olarak değerlendirilebilmektedir.

3.2. Tasarım Parametreleri

Oturma elemanı tasarımı, kullanıcı tarafından kontrol edilebilen ve önceden tanımlanmış sınırlar içerisinde çalışan bir parametre seti üzerinden kurgulanmıştır. Bu parametreler şunlardır:

- Oturma yüksekliği
- Oturma yüzeyi çapı
- Oturma yüzeyi kalınlığı
- Ayak sayısı
- Ayak kalınlığı
- Ayak eğim açısı
- Ayak bağlantı türü (dairesel ya da silindirik)
- Malzeme türü (ahşap, metal, plastik ya da deri)

Söz konusu parametreler, Grasshopper arayüzünde yer alan sürgüler (sliders) ve listeler aracılığıyla yönetilmekte; bu sayede teknik bilgi seviyesi sınırlı kullanıcıların dahi tasarımı belirli kısıtlar dahilinde özelleştirebilmesi mümkün olmaktadır.



Görsel 1. Grasshopper Parametreler

3.3. Algoritmik Yapı

Geliştirilen algoritma iki temel bölümden oluşmaktadır:

- Geometri üretimi: Oturma yüzeyinin ve taşıyıcı ayakların parametrik olarak oluşturulmasından sorumludur.
- Yapısal kurgu: Ayak–oturma yüzeyi bağlantıları, hizalama, denge ve stabilite koşullarını yönetmektedir.

Çizelge 1. Grasshopper'da Kullanılan Parametreler ve Sınırları

Parametreler	**Sınırlar**
Oturma yüksekliği	42-48 cm
Oturma yüzeyi çapı	30-38 cm
Oturma yüzeyi kalınlığı	2.0-4.0 cm
Ayak sayısı	3-4
Ayak kalınlığı	2.5-4.5 cm
Ayak bağlantı türü	Dairesel - Silindirik
Oturma yüzeyi malzemesi	Ahşap, Metal, Plastik veya Deri
Ayak malzemesi	Ahşap, Metal, Plastik veya Deri
Ayak bağlantı malzemesi	Ahşap, Metal, Plastik veya Deri

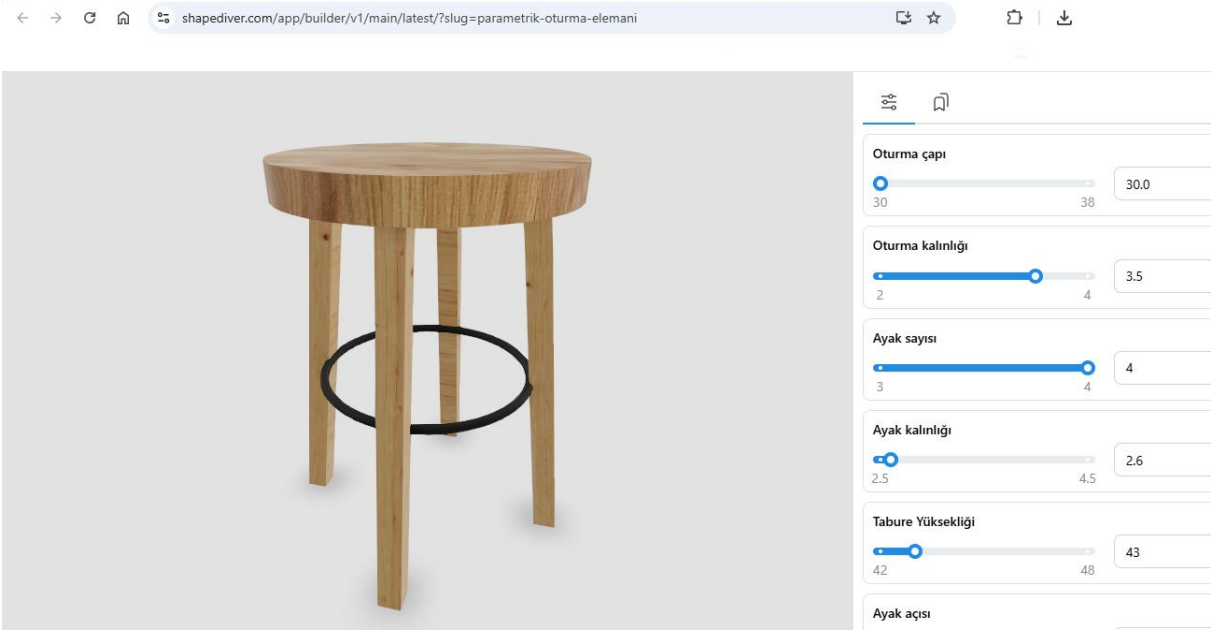
Tüm bileşenler parametrik olarak tanımlandığından, giriş değerlerinde yapılan herhangi bir değişiklik modelin tamamını otomatik olarak güncellemekte ve tasarım bütünlüğü korunmaktadır. Ayrıca, Grasshopper ortamında geliştirilen parametrik model, **ShapeDiver** üzerinden web tabanlı bir arayüz aracılığıyla sunularak, tasarımın yazılım eklentisi benzeri bir dijital özelleştirme aracı olarak çalışması sağlanmıştır.



Görsel 2. Üretilen Parametrik Model Örnekleri

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Parametrik oturma elemanı örnek olayı, hesaplamalı tasarım yaklaşımlarının mobilya tasarım sürecinde esneklik ve verimliliği belirgin biçimde artırdığını göstermektedir. Geleneksel tasarım yöntemlerinde manuel yeniden modelleme gerektiren tasarım varyasyonları, parametrik tanımlar sayesinde yalnızca parametrelerin değiştirilmesiyle kısa sürede üretilebilmektedir.



Görsel 3. ShapeDiver Aracılığıyla Üretilen Yazılım Eklentisi (ShapeDiver, 2025)

Tek bir tasarım nesnesine odaklanılması, tasarımın biçimsel tutarlılığı, yapısal davranışı ve malzeme kullanımı açısından ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, parametrik iş akışlarının tekil mobilya elemanları üzerindeki etkisinin daha net biçimde analiz edilmesini sağlamaktadır.

Çalışma sonuçları, parametrik kısıtların kullanılabilirlik ve stabilitenin korunmasında kritik bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Sınırsız özelleştirme, işlevsel ve ergonomik açıdan sorunlu çözümler üretebileceğinden, tasarım zekâsının algoritmik yapıya entegre edilmesi hesaplamalı tasarım süreçlerinde temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu araştırma, tek bir oturma elemanının dijital özelleştirilmesine yönelik hesaplamalı bir tasarım çerçevesi sunmuştur. Parametrik bir oturma elemanı üzerinden yürütülen çalışma, hesaplamalı tasarım yaklaşımlarının yalnızca geometrik form üretimini değil, aynı zamanda tasarım sürecinin farklı aşamalarını bütüncül ve sistematik bir yapı içinde ele almayı mümkün kıldığını ortaya koymuştur. Geliştirilen parametrik iş akışı, tasarım parametreleri ile ortaya çıkan biçimsel sonuçlar arasında doğrudan, izlenebilir ve tutarlı bir ilişki kurulmasını sağlamıştır.

Araştırma bulguları, tekil nesneye odaklanan örnek olay çalışmalarının, parametrik tasarım iş akışlarının test edilmesi ve doğrulanması açısından önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bu tür çalışmalar, çok bileşenli mobilya sistemlerine geçmeden önce tasarım mantığının, algoritmik kurgunun ve tanımlanan kısıtların ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine

olanak tanımakta; böylece ölçeklenebilir hesaplamalı tasarım yaklaşımları için kavramsal bir zemin oluşturmaktadır.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda, geliştirilen parametrik çerçevenin kullanıcı geri bildirimleriyle desteklenmesi, ergonomik değerlendirme ve simülasyon araçlarıyla bütünleştirilmesi ya da artırılmış gerçeklik tabanlı görselleştirme teknikleriyle zenginleştirilmesi önerilmektedir. Bu tür yaklaşımların, tasarım sürecinin deneyimsel ve bilişsel boyutlarını güçlendirerek dijital özelleştirmenin mobilya tasarımındaki kuramsal ve uygulamalı katkılarını daha ileri bir düzeye taşıyacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

Manavis, A. (2024). Digital Customization for Product Design and Manufacturing. *Electronics*, *13*(13), 2483. https://doi.org/10.3390/electronics13132483

Martín-Mariscal, A. (2025). Grasshopper Algorithmic Modelling: Parametric Design for Product Platform Customisation. *Applied Sciences*, *15*(11), 6243. https://doi.org/10.3390/app15116243

ShapeDiver. (2025). *ShapeDiver*. 2025. https://www.shapediver.com/app/builder/v1/main/latest/?slug=parametrik-oturma-elemani

Wu, Y. (2024). Research on Human Data-Driven Parametric Design: Personalized Customization of Chairs. Içinde *Advances in Computational Design Methods* (ss. 211–226). Springer.

Yuan, H., & al., et. (2024). Developing a Digital Human Modeling Toolset for Ergonomic Furniture Design Using Grasshopper. *SoftwareX*.

KONTEYNER ELLEÇLEME TAHMİNİNDE MODEL SEÇİMİ: EGE BÖLGESİ LİMANLARI UYGULAMASI

Dr. Elvan DENİZ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksek Okulu,

elvandeniz@comu.edu.tr - ORCID NO : 0000-0002-4237-1358

ÖZET

Bu çalışmada, Ege Bölgesi limanlarında 2012–2022 döneminde elleçlenen konteyner miktarları (TEU) zaman serisi yöntemleriyle modellenmiş; 2023–2024 yılları için kısa vadeli tahminler üretilerek fiili gerçekleşmelerle karşılaştırılmıştır. Analizlerde doğrusal, parabolik ve üssel trend modelleri ile hareketli ortalama (HO-3, HO-5), basit üstel düzeltme ve çift üstel düzeltme (Holt) yaklaşımları Minitab 17 ortamında uygulanmıştır. Trend modellerinin eğitim dönemi uyumu R^2, düzeltilmiş R^2 ve öngörü R^2 ölçütleriyle değerlendirilmiş; model yeterliliği artık analizi ve otokorelasyon tanılamalarıyla kontrol edilmiştir. Bununla birlikte, tahmin amaçlı model seçiminin yalnızca eğitim dönemi uyum göstergelerine dayandırılmasının sınırlı kalabileceği dikkate alınarak, 2023–2024 dış örneklem doğrulaması esas alınmış ve yüzde sapma nihai karar kriteri olarak kullanılmıştır.

Dış örneklem sonuçlarına göre fiili gerçekleşmeler 2023'te 1.883.136 TEU ve 2024'te 2.381.136 TEU iken, en düşük ortalama sapma değerini üssel trend modeli üretmiştir (%8,82; 2023=%9,54, 2024=%8,10). Seviye odaklı yöntemlerin (HO ve üstel düzeltme) özellikle 2024'teki belirgin artışı yakalamakta yetersiz kalması, Ege serisinde doğrulama döneminde ivmelenen bir büyüme dinamiğine işaret etmektedir. Sonuç olarak, Ege Bölgesi için kısa vadeli konteyner tahminlerinde trend bileşenini temsil eden modellerin daha uygun olduğu ve model başarımının mutlaka dış örneklem doğrulama ile raporlanması gerektiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ege bölgesi, zaman serisi, konteyner elleçleme tahmini, dış örneklem doğrulama.

MODEL SELECTION IN CONTAINER HANDLING FORECASTING: AN APPLICATION TO THE PORTS OF THE AEGEAN REGION

ABSTRACT

In this study, container throughput (TEU) handled at Aegean Region ports over the 2012–2022 period was modeled using time-series methods, and short-term forecasts for 2023–2024 were generated and benchmarked against actual observations. The analysis employed linear, quadratic (parabolic), and exponential trend models, as well as moving averages (MA-3, MA-5), simple exponential smoothing, and double exponential smoothing (Holt's method) implemented in Minitab 17. For the trend models, in-sample fit over the training period was assessed using R^2, adjusted R^2, and predicted R^2, while model adequacy was examined through residual diagnostics and autocorrelation checks. However, recognizing that model selection based solely on in-sample goodness-of-fit may be limited for forecasting purposes, out-of-sample validation for 2023–2024 was adopted as the primary evaluation framework, and percentage deviation was used as the final decision criterion.

According to the out-of-sample results, actual volumes were 1,883,136 TEU in 2023 and 2,381,136 TEU in 2024, and the exponential trend model yielded the lowest mean deviation (8.82%; 9.54% in 2023 and 8.10% in 2024). The inability of level-based approaches (moving averages and exponential smoothing) to capture the pronounced increase observed in 2024 suggests an accelerating growth pattern in the Aegean series during the validation period. Overall, the findings indicate that, for short-term container throughput forecasting in the Aegean Region, models representing the trend component are more appropriate, and that forecasting performance should be reported and justified through out-of-sample validation.

Keywords: Aegean Region, time series analysis, container throughput forecasting, out-of-sample validation.

1. GİRİŞ

Küresel ticaretin kesintisiz işleyişinde limanlar, mal akışının yönetildiği ve tedarik zinciri verimliliğinin şekillendiği stratejik düğüm noktaları olarak değerlendirilmektedir (Notteboom ve Winkelmans, 2001). Bu çerçevede konteynerleşme, taşıma–elleçleme–depolama süreçlerinde standartlaşma sağlayarak hız, güvenlik ve maliyet etkinliği yaratmış; konteyner hareketlerinin izlenmesi ve geleceğe dönük talep tahminleri liman planlamasının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Rodrigue, 2016). Türkiye özelinde denizyolunun dış ticaretteki belirleyici rolü ve küresel deniz taşımacılığındaki eğilimler dikkate alındığında, limanlarda konteyner trafiğine ilişkin güvenilir öngörülerin üretilmesi; kapasite, yatırım ve operasyon yönetimi açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır (UNCTAD, 2023; UTİKAD, 2024).

Türkiye'nin liman sistemi Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz ekseninde farklı ölçek ve işlevlerde kümelenmekte; bu bölgelerdeki liman performansı, ülkenin dış ticaret kapasitesini ve bölgesel kalkınma dinamiklerini doğrudan etkilemektedir (Özgür, 2015). Nitekim bölgesel dağılım çalışmaları, Ege Bölgesi'nin İzmir Alsancak ve Aliağa gibi limanlarıyla ihracat odaklı üretimin deniz ticaretine entegrasyonunda kritik bir rol üstlendiğini ve iç bölgelerin denize erişimini sağlayan lojistik merkezler olarak konumlandığını göstermektedir. Bu yapının doğal sonucu olarak Ege Bölgesi konteyner trafiği, 2012–2024 döneminde belirgin bir artış eğilimi sergilemiş; 2012'de 1.109.372 TEU olan hacim, 2024'te 2.381.136 TEU'ya yükselmiştir. Ayrıca 2024 yılı itibarıyla gözlenen ani ve yüksek artışın, bölgedeki liman yatırımları ve hinterlandın lojistik potansiyelinin belirginleşmesiyle ilişkili olabileceği vurgulanmaktadır. Bu tür hızlanmalar/dalgalanmalar, kısa vadeli operasyonel kararların (rıhtım ve saha kapasite kullanımı, ekipman tahsisi, işgücü planlaması vb.) daha yüksek belirsizlik altında alınmasına neden olmakta; dolayısıyla model seçiminin önemi artmaktadır (Notteboom ve Winkelmans, 2001; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

Konteyner elleçleme tahmininde temel metodolojik sorunlardan biri, "tek bir yöntemle" farklı veri yapılarında sürekli olarak en iyi sonuçların elde edileceğinin varsayılmasıdır. Oysa zaman serileri trend, dönemsel oynaklık, dışsal şoklar ve olası yapısal kırılmalar gibi bileşenleri birlikte barındırabildiğinden, model performansı veri yapısına duyarlı biçimde değişebilmektedir (Makridakis, Wheelwright, ve Hyndman, 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Bu nedenle model seçimi, yalnızca eğitim dönemi uyum ölçütleriyle sınırlı bırakılmamalı; farklı yöntemler aynı veri seti üzerinde denenerek dış örneklem doğrulamasıyla test edilmelidir.

Bu değerlendirme yaklaşımında MAPE, MAD ve MSD gibi hata ölçütlerinin birlikte kullanımı, tahmin edilen değerlerle gözlenen değerler arasındaki farkların sistematik olarak ölçülmesini ve modellerin farklı hata duyarlılıklarının daha dengeli analiz edilmesini sağlar (Diebold, 2012; Stock ve Watson, 2015). Ayrıca tahmin sürecinin yalnızca matematiksel algoritmalarla sınırlı olmadığı, uzmanlık ve bağlamsal yorumla desteklendiğinde karar vericiler için daha işlevsel hâle geldiği de vurgulanmaktadır (Armstrong, 2001). Bu çerçevede, liman yönetimi açısından anlamlı bir karar desteği üretmek için yöntemlerin karşılaştırmalı biçimde sınanması ve performansın nesnel hata ölçütleri üzerinden raporlanması gerekir (Hyndman ve Koehler, 2006; Makridakis vd., 1998).

Bu çalışma, "Konteyner Elleçleme Tahmininde Model Seçimi: Ege Bölgesi Limanları Uygulaması" kapsamında Ege Bölgesi'nin yıllık konteyner elleçleme serisini (TEU) ele almakta ve model seçimini tahmin doğruluğu odaklı bir çerçevede gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, 2012–2022 dönemi eğitim seti, 2023–2024 dönemi ise dış örneklem doğrulama seti olarak ayrıştırılmakta;

doğrusal, parabolik ve üssel trend modelleri ile hareketli ortalama ve üstel düzeltme ailesindeki yöntemler karşılaştırmalı olarak uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçların; Ege Bölgesi serisinin yakın dönem dinamikleri altında hangi yöntemlerin daha isabetli öngörü ürettiğini görünür kılması, dış örneklem doğrulamasının model seçimi kararına katkısını somutlaştırması ve bölgesel liman planlaması ve lojistik politika tasarımı açısından uygulanabilir bir değerlendirme zemini sunması beklenmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Literatür Taraması ve Kuramsal Çerçeve

Limanlarda konteyner elleçleme hacminin öngörülmesi; kapasite planlama, ekipman yatırımları, saha düzeni ve hinterlant bağlantılarının yönetimi açısından temel bir karar destek girdisi olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçevede literatür, bir yandan konteyner akışlarını etkileyen yapısal belirleyicileri ve rekabet dinamiklerini ortaya koyarken; diğer yandan farklı tahmin yöntemlerinin doğruluk performanslarını karşılaştırarak "uygun model seçimi" problematiğine odaklanmaktadır.

Ege Bölgesi özelinde yapılan çalışmaların önemli bir kısmı, tahminin planlama kararlarına nasıl dönüştürülebileceğini göstermektedir. Eren, Yıldırım ve Gökkuş'un çalışması, Kuzey Ege Konteyner Limanı için tahmin edilen gemi trafiği ve konteyner kapasitesi çıktılarından hareketle hinterlantta depolama ihtiyacını belirlemeyi ve belirli kapasitedeki açık stok sahası için uygun elleçleme ekipmanı saha boyutu ilişkisini simülasyon yoluyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda Container Yard Optimization (CYO) yazılımı ile farklı işletim sistemlerine göre ekipman boyutu ve sayıları analiz edilmiş; İzmir Limanı örneğinde CYO temelli simülasyon sonucunda optimum 18.000 TEU'luk stok sahası gereksinimi raporlanmıştır (Eren, Yıldırım ve Gökkuş, 2011). Bu yaklaşım, tahmin sonuçlarının yalnızca "öngörü" olarak kalmayıp, terminal sahası ve ekipman kapasitesi gibi operasyonel kararlara bağlanması bakımından Ege ölçeğindeki çalışmalara uygulama temelli bir perspektif sunmaktadır.

Buna karşılık, konteyner akışlarının şekillenmesinde limanların rekabet gücü ve çekicilik kriterleri de belirleyici bir eksen oluşturmaktadır. Özkara, Çetinkaya ve Deveci (2025), Doğu Akdeniz'de aktarma limanı seçimini ele alarak Aliağa, Ambarlı, Mersin, Pire ve Port Said alternatiflerini AHP–TOPSIS bütünleşik yaklaşımıyla sıralamıştır. Zaman serisi tahmin yöntemlerini doğrudan uygulamasa da, bu tür ÇKKV temelli çalışmalar konteyner akışlarını etkileyen çok boyutlu kriter setini (altyapı, konum, bağlantısallık, hizmet seviyesi vb.) görünür kılarak, tahmin modellerinde açıklayıcı değişken seçimi ve senaryo kurgusu açısından tamamlayıcı bir çerçeve sağlamaktadır (Özkara, Çetinkaya ve Deveci, 2025).

Uluslararası literatürde ise tahmin doğruluğunu artırma yönünde, veri kaynaklarının genişletilmesi ve model mimarilerinin hibritleştirilmesi öne çıkmaktadır. Zeng ve Xu (2024), yalnızca hinterlant göstergelerine dayalı tahminler yerine, deniz yönlü etki alanını (foreland) temsil eden bağlantı verilerinin de dahil edilmesinin tahmin performansını artırabildiğini göstermiştir. Yazarlar, çok sayıdaki değişkenin aşırı uyuma (overfitting) yol açmasını azaltmak üzere Grey Correlation Analysis ile değişken seçimi yapmış; doğrusal olmayan örüntüleri yakalamak amacıyla bu yaklaşımı Evrişimli Sinir Ağı (CNN) ile birleştirerek Grey-CNN hibrit modelini önermiş ve çok kaynaklı verinin tahmin başarımını iyileştirdiğini raporlamıştır (Zeng

ve Xu, 2024). Bu bulgu, özellikle bölgesel konteyner hacimlerinde görülen yapısal kırılmalar ve dışsal şoklar karşısında, tek bir veri boyutuna dayalı modellerin sınırlı kalabileceğine işaret etmektedir.

Tahmin yöntemleri açısından, uygulamada tarihsel eğilim ekstrapolasyonuna dayalı modellerin yaygın olduğu; ancak sürücü değişkenleri açıklamada ve yapısal değişimleri temsil etmede zaman zaman yetersiz kaldığı vurgulanmaktadır. Jansen (2013), limanlarda konteyner throughput tahmininde farklı model ailelerini karşılaştırarak, trend temelli yaklaşımların pratikte sık kullanıldığını; ancak açıklayıcı değişkenleri içeren modellerin bazı bağlamlarda daha güçlü yorumlama imkânı sunabildiğini belirtmektedir (Jansen, 2013). Bu değerlendirme, "yüksek uyum" ile "yüksek tahmin doğruluğunun her zaman aynı anlama gelmediği; model seçiminin mutlaka performans odaklı ve karşılaştırmalı yürütülmesi gerektiği yönündeki metodolojik tartışmayla örtüşmektedir.

Türkiye literatüründe son yıllarda iki eğilimin belirginleştiği görülmektedir. Birinci eğilim, konteyner terminallerinin performansını çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımlarıyla ölçme ve sıralama çalışmalarının artmasıdır. Çelik ve Yorulmaz (2023), Türkiye'de seçilmiş 13 konteyner terminalini Entropi ve TOPSIS yöntemleriyle değerlendirerek kriter ağırlıklarını belirlemiş, ardından terminalleri performans düzeylerine göre sıralamıştır. Çalışmada terminal sahası gibi kapasite göstergelerinin performans üzerinde kritik rol oynadığı; sıralamada Mersin Limanı'nın öne çıktığı raporlanmıştır (Çelik ve Yorulmaz, 2023). Bu tür bulgular, tahmin çalışmalarında kapasite ve altyapı göstergelerinin bağlamsal önemini desteklemektedir. İkinci eğilim ise, kısa vadeli öngörü üretmeye odaklanan veri odaklı/ML temelli tahmin yaklaşımlarının yaygınlaşmasıdır. Kılınç, Karaatlı ve Ömürbek (2022), Türkiye'de limanlarda gerçekleşen konteyner ve yük elleçleme hacimlerini aylık veriler üzerinden NARX sinir ağlarıyla tahmin etmiş; üretilen öngörülerin liman işletmeleri ve paydaşlarının planlama süreçlerine katkı sağlayabileceğini vurgulamıştır (Kılınç, Karaatlı ve Ömürbek, 2022).

Ege Bölgesi'nin konteyner taşımacılığındaki stratejik ağırlığı, bölgesel odaklı tahmin çalışmalarını ayrıca anlamlı kılmaktadır. Ege; İzmir Alsancak ve Aliağa limanları üzerinden ihracat odaklı üretimin deniz ticaretine entegrasyonunda kritik rol üstlenmekte, Batı Anadolu'nun dış ticaret akışını yönlendiren bir lojistik merkez olarak konumlanmaktadır (Deniz, 2025). Bunun yanında Nemrut Körfezi'nde özel sektör tarafından işletilen çok sayıda liman tesisinin faaliyete geçmesiyle Aliağa ilçesinde yük kapasitesinin belirgin biçimde arttığı; bu yoğunlaşmanın Ege'nin ticari kapasitesini güçlendirdiği ifade edilmektedir (Kurt, 2024). Bu yapısal dinamikler, Ege Bölgesi'nde konteyner hacminin sadece artan bir trend göstermesine değil, dönemsel sıçramalar ve hızlanmalar üretmesine de neden olabilmektedir. Dolayısıyla tahmin yaklaşımının seçimi, yalnızca yöntemsel bir tercih değil; bölgenin yatırım/operasyon kararlarını doğrudan etkileyen stratejik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu literatür birikimi birlikte değerlendirildiğinde, Ege Bölgesi odağında iki araştırma boşluğu belirginleşmektedir: ÇKKV temelli rekabet ve çekicilik analizlerinin sunduğu "bağlamsal belirleyiciler" ile zaman serisi tahminlerinin "performans" odağının bütünleşik tartışılması; farklı tahmin yöntemlerinin Ege Bölgesi yıllık konteyner serisinde dış örneklem doğrulamasıyla karşılaştırılarak model seçiminin sistematik biçimde gerekçelendirilmesi. Bu çalışma, Ege Bölgesi limanlarında konteyner elleçleme tahmininde model seçimini, birden

fazla yöntemle karşılaştırmalı performans değerlendirmesi üzerinden ele alarak söz konusu boşluğa katkı sunmayı hedeflemektedir.

Bu bulgular ışığında çalışmanın kuramsal çerçevesi, limanlarda konteyner elleçleme hacmi (TEU) tahminini karar destek bağlamında dört bileşen üzerinden kurgulamaktadır: (i) TEU öngörüsünün kapasite planlama, ekipman yatırımı ve saha düzeni kararlarına girdi sağlaması; (ii) konteyner akışlarını belirleyen bağlamsal unsurlar olarak liman çekiciliği/rekabet gücü (altyapı, bağlantısallık, hizmet seviyesi vb.) ile hinterlant–foreland etkileşiminin birlikte değerlendirilmesi; (iii) Ege Bölgesi serisinde trend bileşeni, dönemsel hızlanmalar ve olası yapısal kırılmaların serinin dinamikleri üzerinde etkili olabilmesi; (iv) eğitim dönemi uyumu (örn. yüksek R^2) ile tahmin doğruluğunun her zaman örtüşmeyebileceği kabulüyle model seçiminin dış örneklem performansına dayalı yürütülmesi. Bu doğrultuda çalışma, farklı zaman serisi yaklaşımlarını dış örneklem doğrulaması ve hata ölçütleri üzerinden karşılaştırarak, model seçimini bölgesel rekabet/çekicilik dinamikleri ve bağlantısallık koşulları ile uyumlu biçimde stratejik planlama gerekliliği olarak konumlandırmaktadır.

2.2. Veri Seti ve Araştırma Tasarımı

Bu çalışmada, Ege Bölgesi limanlarında 2012–2024 döneminde elleçlenen konteyner miktarlarına (TEU) ilişkin yıllık zaman serisi verileri kullanılmıştır. Veri seti, Türkiye'de liman istatistiklerini düzenli biçimde yayımlayan ve sektörel çalışmalarda yaygın biçimde referans alınan Türkiye Liman İşletmecileri Derneği (TÜRKLİM) yıllık raporlarından derlenmiştir (TÜRKLİM, 2025). Modelleme sürecinde 2012–2022 dönemi eğitim seti, 2023–2024 dönemi ise dış örneklem doğrulama seti olarak ayrıştırılmıştır. Çalışma, tek değişkenli zaman serisi yaklaşımıyla kurgulanmış; bağımlı değişken yıllık konteyner elleçleme hacmi (TEU), bağımsız değişken ise zaman (yıl) olarak tanımlanmıştır.

Analizlerde serinin eğilim yapısını temsil etmek üzere doğrusal, parabolik (kuadratik) ve üssel trend modelleri; dalgalanmaları yumuşatmaya yönelik olarak 3 ve 5 dönem hareketli ortalama ile basit üstel düzeltme ve çift üstel düzeltme (Holt) yöntemleri uygulanmıştır. Modellerin karşılaştırılmasında MAPE, MAD ve MSD hata ölçütlerinden yararlanılmış; nihai model seçimi, yalnızca eğitim dönemindeki uyum göstergelerine dayandırılmayarak, 2023–2024 dönemindeki gerçekleşen değerlerle kıyaslanan dış örneklem tahmin performansı temelinde yapılmıştır. Yıllık frekanslı verilerin sürekliliği, Ege Bölgesi konteyner serisindeki uzun dönemli eğilimlerin izlenmesini kolaylaştırmakta; buna ek olarak, kısa vadeli tahmin yaklaşımlarının aynı veri yapısı üzerinde karşılaştırılmasına olanak tanıyan tutarlı bir nicel zemin sunmaktadır.

2.3. İstatistiksel Yöntemler

Trend analizi, zaman serilerinde uzun dönemli yönelimi ve değişim hızını ortaya koyarak serinin genel artış/azalış eğilimini nicel olarak modellemeyi amaçlar. Kısa dönemli dalgalanmalar ikincil görülür; böylece planlama ve kapasite kararlarını destekleyecek öngörüler üretilebilir (Makridakis vd., 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

Basit hareketli ortalama, seçilen pencere uzunluğundaki geçmiş değerlerin ortalamasıyla tahmin üretir ve rassal oynaklığı yumuşatır. Pencere uzadıkça seri daha stabil görünür; ancak yöntemin yeni değişimlere tepkisi gecikebilir. Bu nedenle kısa pencereler (örn. 3 dönem) daha

duyarlı, uzun pencereler (örn. 5 dönem) daha dengeli sonuçlar sağlayabilir (Makridakis vd., 1998; Montgomery vd., 2015).

Basit üstel düzeltme, geçmiş gözlemlere azalan ağırlıklar vererek kısa vadeli tahmin üretir ve son gözlemlere daha fazla ağırlık tanıdığı için değişimlere hareketli ortalamaya göre daha hızlı uyum gösterebilir (Brown, 1959). Düzeltme katsayısı α büyüdükçe model daha hızlı tepki verir; küçüldükçe daha fazla yumuşatma sağlar (Gardner, 1985; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

Çift üstel düzeltme, trend içeren serilerde düzey ve trend bileşenlerini birlikte güncelleyerek basit üstel düzeltmenin sınırlılığını azaltır (Brown, 1959). α ve β parametreleri, düzey ve trendin güncellenme hızını belirler; mevsimsellik içermeyen fakat belirgin eğilim gösteren serilerde kısa–orta vadeli tahminler için yaygın bir seçenektir (Gardner, 1985; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

2.4. Hata Ölçütleri, Varsayımlar ve Model Seçim Süreci

Tahmin modellerinin doğruluğunu ölçmek ve farklı yöntemleri karşılaştırmak için hata ölçütleri kullanılır. Bu göstergeler, tahmin değerleri ile gerçekleşen gözlemler arasındaki farkı nicelleştirerek model seçimini daha nesnel hâle getirir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE); dönemdeki yüzde hata büyüklüklerinin (mutlak değer) ortalamasını verir ve modelin ortalama yüzde sapmasını gösterir. Ölçekten bağımsız olması farklı büyüklükteki serilerin kıyaslanmasını kolaylaştırır. Buna karşılık, gerçekleşen değerlerin sıfıra çok yakın olduğu durumlarda oran yapısı nedeniyle yanıltıcı sonuçlar üretebilir; yine de yorumunun pratik olması nedeniyle yaygın biçimde kullanılmaktadır (Hyndman ve Koehler, 2006).

Ortalama Mutlak Sapma (MAD); tahmin–gerçekleşen farklarının mutlak değerlerinin ortalaması olup "tipik hata" büyüklüğünü serinin kendi birimiyle ifade eder. Mutlak değer yaklaşımı, pozitif ve negatif hataların birbirini dengelemesini önler ve büyük sapmalara MSE'ye kıyasla daha az hassastır. Ancak birim koruduğu için farklı ölçeklerdeki seriler arasında karşılaştırma yapmada MAPE kadar elverişli değildir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

Ortalama Karesel Sapma (MSD/MSE); hata terimlerinin karelerinin ortalamasına dayanır; bu nedenle büyük hataları daha yüksek ağırlıkla cezalandırır ve özellikle büyük sapmaların kritik olduğu uygulamalarda ayırt edici bir ölçüt sağlar (Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Öte yandan kare alma işlemi birimi kareselleştirir; bu da yorumlamayı MAD ve MAPE'ye göre daha az sezgisel kılar ve ölçütü uç değerlere daha duyarlı hâle getirir.

Bu çalışmada Ege Bölgesi limanlarının 2012–2024 dönemine ait yıllık konteyner elleçleme verileri kullanılarak zaman serisi analizleri, temel istatistiksel varsayımlar çerçevesinde yürütülmüştür. Serinin normalliği Anderson–Darling testi ile sınanmış; p-değerinin 0,05'ten büyük olması nedeniyle %5 anlamlılık düzeyinde normal dağılımdan anlamlı bir sapma tespit edilmemiştir ($p>0,05$) (Stephens, 1974; Montgomery vd., 2015). Model değerlendirmesinde, trend modelleri için açıklama gücünü yansıtmak üzere R^2 ve düzeltilmiş R^2; tahmin başarımı için R^2_pred ile birlikte MAPE, MAD ve MSD hata ölçütleri esas alınmıştır (Hyndman ve Koehler, 2006; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

Verilerin yıllık frekansta sunulması, belirgin mevsimsellik içermemesi ve gözlem sayısının sınırlı kalması nedeniyle Box–Jenkins kapsamındaki ARIMA türü modellerin katkısı sınırlı değerlendirilmiş; analizler doğrusal/parabolik/üssel trend, 3 ve 5 dönem hareketli ortalama, basit üstel düzeltme ve çift üstel düzeltme (Holt) yöntemlerine odaklanmıştır (Box vd., 2015; Makridakis vd., 1998). Her bir alternatif yöntem, istatistiksel yeterlilik ve tahmin doğruluğu birlikte dikkate alınarak karşılaştırılmış; model seçimi yalnızca eğitim dönemi uyumuna değil, 2023–2024 dış örneklem doğrulamasında daha düşük hata üreten yaklaşımlara dayandırılmıştır (Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

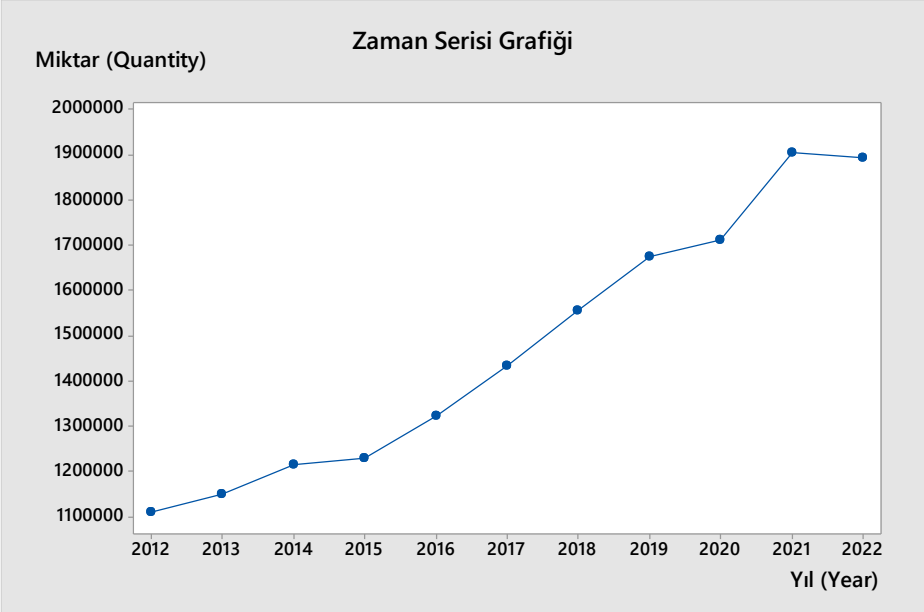
Bununla birlikte tahminler, serinin içsel dinamiklerine dayalıdır; döviz kuru, dış ticaret hacmi, mevzuat değişimleri, altyapı yatırımları ve küresel şoklar gibi dışsal belirleyiciler modele dâhil edilmemiştir. Bu durum çalışmanın temel sınırlılığıdır. Ayrıca veri setinin yalnızca Ege Bölgesi'ne ait yıllık gözlemlerden oluşması, bölgesel karşılaştırmaların kapsamını sınırlandırmaktadır. Buna karşın elde edilen öngörüler, mevcut eğilimlerin sürdüğü varsayımı altında kısa vadeli kapasite planlama ve stratejik değerlendirmeler için nicel bir referans sunmaktadır (Makridakis vd., 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çizelge 1 ve Görsel 1 birlikte incelendiğinde, Ege Bölgesi limanlarında elleçlenen konteyner miktarının (TEU) 2012'de 1.109.372'den 2022'de 1.894.085'e yükseldiği ve eğitim döneminde toplamda yaklaşık %71'lik bir artış gerçekleştiği görülmektedir. Seride 2016 sonrasında artış eğilimi belirginleşmiş; 2019–2020 döneminde görece daha ılımlı/yatay bir seyir izlenmiş, 2021'de tepe değer oluşmuş ve 2022–2023'te sınırlı bir geri çekilme gözlenmiştir. Buna karşın 2024'te 2.381.136 TEU ile önceki tüm yılları aşan güçlü bir sıçrama gerçekleşerek yeni zirve oluşmuştur.

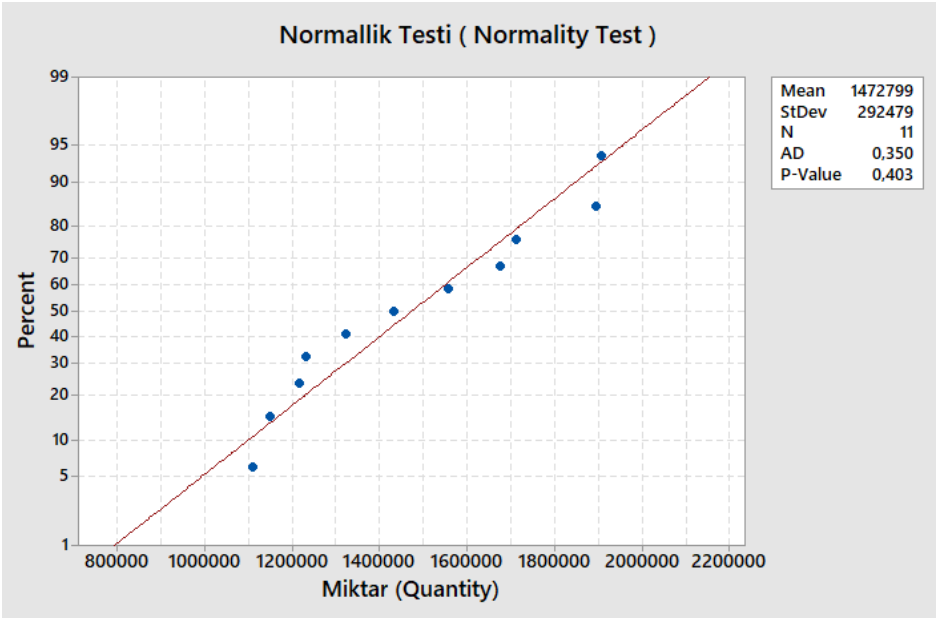
Çizelge 1. Ege Bölgesi limanlarında elleçlenen konteyner miktarı (TEU)

Yıllar	Elleçlenen Konteyner (TEU)	Yıllar	Elleçlenen Konteyner (TEU)
2012	1.109.372	**2019**	1.674.159
2013	1.149.618	**2020**	1.711.906
2014	1.215.273	**2021**	1.905.742
2015	1.230.025	**2022**	1.894.085
2016	1.322.746	**2023**	1.883.136
2017	1.432.255	**2024**	2.381.136
2018	1.555.613		



Görsel 1. Ege Bölgesi limanlarında elleçlenen konteynerlerin zaman serisi grafiği

Modelleme kapsamında 2012–2022 dönemi eğitim seti, 2023–2024 dönemi dış örneklem doğrulama olarak ayrılmış; böylece model seçimi yalnızca eğitim dönemi uyumuna değil, gerçekleşen değerlere yakınlığı yansıtan dış örneklem performansına göre yapılabilmiştir (Makridakis vd., 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Normalite testi sonuçları da eğitim dönemi için anlamlı bir sapmaya işaret etmemektedir (p=0,403).



Görsel 2. Normal dağılıma uygunluk grafiği (Anderson-Darling testi)

Analiz öncesinde serinin dağılım yapısını değerlendirmek amacıyla Anderson–Darling normallik testi uygulanmıştır. Görsel 2'de görüldüğü üzere test sonucunda AD = 0,350 ve p = 0,403 elde edilmiştir. p-değerinin 0,05'ten büyük olması nedeniyle normal dağılım varsayımı reddedilmemiş; serinin normal dağılımla uyumlu bir yapı sergilediği değerlendirilmiştir

Bu sonuç, serinin dağılım yapısının parametrik varsayımlarla genel olarak uyumlu olduğunu göstererek; özellikle regresyon tabanlı trend modellerinin kurulması ve hata/kalıntı incelemelerinin güvenle yürütülmesi açısından bir ön uygunluk kontrolü işlevi görmektedir (Stephens, 1974; Montgomery vd., 2015).

3.1. Doğrusal Trend Analizi

ANOVA sonuçları, doğrusal trend modelinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir ($F = 302{,}10$; $p < 0{,}001$). Buna göre konteyner elleçleme miktarındaki değişimin önemli bir bölümü zaman (t) değişkeni ile açıklanmaktadır. Eğitim dönemi 2012–2022 olup, zaman değişkeni 2012 yılı için t=1 (2013=2, …, 2022=11) olacak şekilde indekslenmiştir. Elde edilen regresyon denklemi:

$$Y_t = 951.394 + 86.901t$$

şeklindedir ve bu sonuç, konteyner hacminin yılda ortalama 86.901 TEU arttığına işaret etmektedir ($t = 17{,}38$; $p < 0{,}001$). Model uyum göstergeleri $R^2 = \%97{,}11$, $R^2_\{adj\} = \%96{,}79$ ve $R^2_\{pred\} = \%95{,}37$ olup, modelin hem eğitim döneminde yüksek açıklama gücüne hem de güçlü bir öngörü kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Hata ölçütleri MAPE = 2,759, MAD = $3{,}847 \times 10^4$ ve MSD = $2{,}250 \times 10^9$ olarak hesaplanmıştır. Durbin–Watson değerinin 1,3849 olması hafif pozitif otokorelasyon olasılığına işaret etse de, Artıkların ACF katsayılarının düşük düzeylerde kalması ve Ljung–Box istatistiklerinin anlamlı olmaması, artıkların belirgin bir seri-korelasyon içermediğini göstermektedir; dolayısıyla bağımsızlık varsayımı kabul edilebilir düzeydedir.

3.2. Parabolik Trend Analizi

ANOVA sonuçları, parabolik (kuadratik) trend modelinin genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu göstermektedir ($F = 215{,}56$; $p < 0{,}001$). Eğitim dönemi 2012–2022 olup zaman değişkeni 2012 için t=1 (… 2022=11) şeklinde indekslenmiştir. Elde edilen model:

$$Y_t = 1.036.362 + 47.685t + 3.268t^2$$

biçimindedir. Katsayılar incelendiğinde doğrusal terim anlamlıdır ($p = 0{,}033$) ve artış eğilimini doğrular. Model uyum ölçütleri $R^2 = \%98{,}18$, $R^2_\{adj\} = \%97{,}72$ ve $R^2_\{pred\} = \%94{,}94$ olup, yüksek açıklama gücüyle birlikte kabul edilebilir bir öngörü performansına sahiptir.

Hata ölçütleri MAPE = 2,027, MAD = $3{,}119 \times 10^4$ ve MSD = $1{,}417 \times 10^9$ olarak hesaplanmıştır; bu değerler parabolik modelin doğrusal trende kıyasla daha düşük sapma üretebildiğini göstermektedir. Model tahminleri 2023 için 2.079.173 TEU, 2024 için 2.208.558 TEU'dur. Artık bağımsızlığı açısından Durbin–Watson = 2,158 değeri belirgin bir otokorelasyon sorununa işaret etmemektedir. Artıkların ACF çıktısında gecikme 1–3 otokorelasyonlarının −0,219, 0,169 ve −0,338 düzeylerinde kalması ve Ljung–Box istatistiklerinin düşük olması, artıkların belirgin bir seri-korelasyon yapısı taşımadığını; dolayısıyla bağımsızlık varsayımının kabul edilebilir olduğunu desteklemektedir.

3.3. Üssel Trend Analizi

ANOVA sonuçları, üssel trend modelinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir ($F = 482{,}38$; $p < 0{,}001$). Eğitim dönemi 2012–2022 olup zaman değişkeni 2012 için t=1 (… 2022=11) şeklinde indekslenmiştir. Model denklemi:

$$Yt=1{,}014{,}718\times(1{,}06090)^{t}$$

şeklini almaktadır. Buna göre konteyner hacmi dönem başına ortalama %6,09 oranında artış eğilimi göstermektedir ($p < 0{,}001$). Model uyum ölçütleri R^2 = %98,17, R^2_{adj} = %97,96 ve R^2_{pred} = %97,12 olup, hem eğitim döneminde yüksek açıklama gücüne hem de güçlü bir öngörü kapasitesine işaret etmektedir.

Hata ölçütleri MAPE = 2,182, MAD = $3{,}276\times10^{4}$ ve MSD = $1{,}522\times10^{9}$ olarak hesaplanmıştır. Model tahminleri 2023 için 2.062.751 TEU, 2024 için 2.188.376 TEU düzeyindedir. Artıkların bağımsızlığı açısından Durbin–Watson = 1,682 değeri hafif pozitif otokorelasyon olasılığına işaret etse de, Artıkların ACF katsayılarının gecikme 1–3 için −0,116, 0,160 ve −0,343 düzeylerinde kalması ve Ljung–Box istatistiklerinin düşük olması, artıkların belirgin bir seri-korelasyon yapısı taşımadığını; dolayısıyla bağımsızlık varsayımının kabul edilebilir olduğunu desteklemektedir.

3.4. Hareketli Ortalama

Üç dönemlik hareketli ortalama (HO-3) yöntemi, serideki kısa dönemli oynaklığı azaltmak amacıyla her dönemde son üç gözlemin aritmetik ortalamasını kullanarak tahmin üretir. Buna göre bir dönem ileri tahmin,

$$\hat{Y}_{t+1}= (Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2}) / 3$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Makridakis vd., 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Bu uygulamada HO-3 modelinin hata ölçütleri MAPE = 10,75, MAD = $1{,}730\times10^{5}$ ve MSD = $3{,}355\times10^{10}$ olarak elde edilmiştir. Dış örneklem için üretilen tahminler, yöntemin yapısı gereği son pencereye bağlı olarak aynı değer etrafında oluşmuş; 2023 ve 2024 için tahmin değeri 1.837.244 TEU olarak hesaplanmıştır. %95 tahmin aralığı her iki yıl için [1.478.258 – 2.196.231] TEU düzeyindedir.

Artıkların bağımsızlığı ACF ve Ljung–Box tanılamalarıyla kontrol edilmiştir. ACF değerlerinin gecikme 1 ve 2'de çok düşük kaldığı (sırasıyla 0,0858 ve 0,0886) ve Ljung–Box istatistiklerinin de LBQ(1)=0,08 ile LBQ(2)=0,19 düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu bulgular, HO-3 model artıklarının belirgin bir seri-korelasyon içermediğini ve artıkların beyaz gürültü varsayımına yakın davrandığını; dolayısıyla bağımsızlık varsayımının kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Ljung ve Box, 1977).

Beş dönemlik hareketli ortalama (HO-5) yöntemi, serideki kısa dönemli dalgalanmaları azaltmak amacıyla her dönemde son beş gözlemin aritmetik ortalamasını esas alır. Bir dönem ileri tahmin,

$$\hat{Y}_{t+1}= (Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2}+ Y_{t-3}+ Y_{t-4}) / 5$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Makridakis vd., 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Bu uygulamada HO-5 modelinin hata ölçütleri MAPE = 16,83, MAD = $2{,}848\times10^{5}$ ve MSD = $8{,}344\times10^{10}$ olarak elde edilmiştir. Dış örneklem tahminleri, yöntemin yapısı gereği son pencere ortalamasının ileriye taşınmasına dayandığından 2023 ve 2024 için aynı tahmin değeri üretmiş; her iki yıl için öngörü 1.748.301 TEU düzeyinde hesaplanmıştır. %95 tahmin aralığı her iki dönem için [1.182.135 – 2.314.467] TEU olarak belirlenmiştir.

Artıkların bağımsızlığı ACF ve Ljung–Box tanılamalarıyla değerlendirilmiştir. ACF değerleri gecikme 1'de −0,412 ile negatif yönde orta düzeyde bir ilişkiye işaret etse de, 2. gecikmede otokorelasyonun 0,117 düzeyine gerilediği görülmektedir. Ljung–Box istatistiklerinin LBQ(1)=1,63 ve LBQ(2)=1,79 gibi düşük değerlerde kalması, artıklar için güçlü ve süreklilik gösteren bir seri-korelasyon yapısının bulunmadığını düşündürmektedir. Dolayısıyla, kısa gecikmede sınırlı bir bağımlılık olasılığına karşın artıkların genel olarak bağımsızlık varsayımını kabul edilebilir düzeyde sağladığı değerlendirilmektedir (Ljung ve Box, 1977).

3.5. Basit Üstel Düzeltme

Basit üstel düzeltme (SES) yöntemi, serinin seviye (level) bileşenini geçmiş gözlemlere üstel olarak azalan ağırlıklar vererek günceller. Seviye bileşeni

$$\ell_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)\,\ell_{t-1}$$

şeklinde hesaplanır ve bir dönem ileri tahmin $\hat{Y}_{t+1}=\ell_t$ olarak elde edilir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Bu çalışmada düzeltme katsayısı α = 0,9 seçilmiştir. Modelin hata ölçütleri MAPE = 6,15, MAD = $9{,}000\times10^{4}$ ve MSD = $1{,}136\times10^{10}$ olarak hesaplanmıştır.

Dış örneklem öngörüleri, serinin seviyesinin korunacağı varsayımı altında 2023 ve 2024 için aynı tahmin değerini üretmiş; her iki yıl için tahmin 1.893.261 TEU düzeyinde gerçekleşmiştir. %95 tahmin aralığı her iki dönem için [1.672.774 – 2.113.748] TEU olarak bulunmuştur.

Artıkların bağımsızlığı ACF ve Ljung–Box tanılamalarıyla incelenmiştir. ACF değerlerinin gecikme 1–3 için 0,071, 0,170 ve 0,147 gibi düşük düzeylerde kaldığı; Ljung–Box istatistiklerinin de LBQ(1)=0,07, LBQ(2)=0,53 ve LBQ(3)=0,91 ile düşük değerler ürettiği görülmektedir. Bu bulgular, artıkların belirgin bir seri-korelasyon yapısı taşımadığını ve bağımsızlık (beyaz gürültüye yakınlık) varsayımının genel olarak kabul edilebilir olduğunu göstermektedir (Ljung ve Box, 1977).

3.6. Çift Üstel Düzeltme (Holt)

Çift üstel düzeltme (Holt) yöntemi, seride seviye ve trend bileşenlerini birlikte güncelleyerek eğilim içeren seriler için kısa vadeli tahmin üretir. Yöntemde seviye ve trend bileşenleri

$$\ell_t=\alpha Y_t+(1-\alpha)(\ell_{t-1}+b_{t-1}),\quad b_t=\gamma(\ell_t-\ell_{t-1})+(1-\gamma)b_{t-1}$$

eşitlikleriyle güncellenmekte; h h dönem ileri tahmin ise

$$\hat{Y}_{t+h}=\ell_t+hb_t$$

şeklinde elde edilmektedir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Bu uygulamada Holt modeli için düzeltme parametreleri α = 0,508 (seviye) ve γ = 0,716 (trend) olarak belirlenmiştir. Modelin hata ölçütleri MAPE = 4,262, MAD = $6{,}212\times10^{4}$ ve MSD = $4{,}568\times10^{9}$ olup, trendi dikkate alan yumuşatma yaklaşımları içinde orta düzeyde bir tahmin hatasına işaret etmektedir.

Artıkların bağımsızlığı ACF ve Ljung–Box istatistikleri ile değerlendirilmiştir. ACF katsayılarının gecikme 1 ve 2'de çok düşük düzeylerde kaldığı (sırasıyla 0,0108 ve 0,0551), 3. gecikmede ise negatif yönde bir değer aldığı (−0,4304) görülmektedir. Ljung–Box istatistiklerinin LBQ(1)=0,00, LBQ(2)=0,05 ve LBQ(3)=3,36 düzeylerinde kalması, artıkların genel olarak belirgin ve süreklilik gösteren bir seri-korelasyon yapısı taşımadığını düşündürmektedir. Dolayısıyla Holt modeli kapsamında artıkların beyaz gürültüye yakın

davrandığı ve bağımsızlık varsayımının kabul edilebilir olduğu değerlendirilebilir (Ljung ve Box, 1977; Durbin ve Watson, 1950).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çizelge 1 ve Görsel 1 birlikte incelendiğinde, Ege Bölgesi limanlarında elleçlenen konteyner miktarının (TEU) 2012'de 1.109.372'den 2022'de 1.894.085'e yükseldiği ve eğitim döneminde toplamda yaklaşık %71'lik bir artış gerçekleştiği görülmektedir. Seride 2016 sonrasında artış eğilimi belirginleşmiş; 2019–2020 döneminde görece daha ılımlı/yatay bir seyir izlenmiş, 2021'de tepe değer oluşmuş ve 2022–2023'te sınırlı bir geri çekilme gözlenmiştir. Buna karşın 2024'te 2.381.136 TEU ile önceki tüm yılları aşan güçlü bir sıçrama gerçekleşerek yeni zirve oluşmuştur.

Modelleme kapsamında 2012–2022 dönemi eğitim seti, 2023–2024 dönemi dış örneklem doğrulama olarak ayrılmış; böylece model seçimi yalnızca eğitim dönemi uyumuna değil, gerçekleşen değerlere yakınlığı yansıtan dış örneklem performansına göre yapılabilmiştir (Makridakis vd., 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Normalite testi sonuçları da eğitim dönemi için anlamlı bir sapmaya işaret etmemektedir (p=0,403).

Çizelge 2. Zaman serisi analiz modellerine ait istatistiksel uyum göstergeleri

Model	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)	P değeri
Doğrusal Trend Analizi	97,11%	96,79%	95,37%	< 0,001
Parabolik Trend Analizi	98,18%	97,72%	94,94%	< 0,001
Üssel Trend Analizi	98,17%	97,96%	97,12%	< 0,001

Çizelge 2'ye göre doğrusal, parabolik ve üssel trend modellerinin tamamı istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,001) ve eğitim döneminde yüksek uyum düzeyleri üretmektedir. Bununla birlikte, tahmin amaçlı model seçiminde yalnızca eğitim dönemi uyum ölçütlerine (R^2, R^2_adj) dayanmak yanıltıcı olabileceğinden, çalışma 2023–2024 dış örneklem doğrulamasını esas almış ve nihai karar ölçütü olarak yüzde sapmayı kullanmıştır. Çizelge 4 sonuçları, dış örneklemde en düşük sapmanın Üssel Trend Analizi ile elde edildiğini (%8,82) göstermektedir; Parabolik Trend (%8,83) ve Doğrusal Trend (%9,25) çok yakın performansla izlemektedir. Yumuşatma temelli yöntemler, özellikle 2024 yılında gözlenen belirgin artışı yakalamakta zorlanmış; HO-3 (%12,64) ve HO-5 (%16,87) en yüksek sapmayı üretmiştir. Bu bulgular, Ege serisinde kısa vadeli öngörü doğruluğunun trend bileşenini açık biçimde temsil eden modellerle arttığını; 2024'teki sıçramanın ise doğrulama döneminde ivmelenme etkisine işaret ettiğini göstermektedir (Makridakis vd., 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021).

Çizelge 3. Zaman serisi analizi modellerine ait hata ölçütlerinin karşılaştırılması

Model	MAPE	MAD	MSD
Doğrusal Trend Analizi	2,759	3,847 10^{04}	2,250 10^{09}
Parabolik Trend Analizi	2,027	3,119 10^{04}	1,417 10^{09}
Üssel Trend Analizi	2,182	3,276 10^{04}	1,522 10^{09}
Hareketli Ortalama 3	10,751	17,297 10^{04}	33,547 10^{09}
Hareketli Ortalama 5	16,834	28,482 10^{04}	83,443 10^{09}
Basit Üssel Düzeltme	6,154	9,000 10^{04}	11,355 10^{09}
Çift Üssel Düzeltme	4,262	6,212 10^{04}	4,568 10^{09}

Çizelge 3 incelendiğinde, en düşük hata değerlerinin trend tabanlı modellerde yoğunlaştığı görülmektedir. Trend modelleri içinde parabolik trend analizi en iyi sonucu vermiş (MAPE = 2,027, MAD = 3,119×10⁴, MSD = 1,417×10⁹); bu bulgu, hem ortalama sapmanın hem de büyük hataların en başarılı biçimde sınırlandığını göstermektedir. Doğrusal trend (MAPE = 2,759, MAD = 3,847×10⁴, MSD = 2,250×10⁹) ve üstel trend (MAPE = 2,182, MAD = 3,276×10⁴, MSD = 1,522×10⁹) modelleri de düşük hata düzeyleriyle güçlü alternatiflerdir; üstel trend özellikle MSD açısından doğrusal modele göre daha iyi performans sergilemiştir.

Buna karşılık hareketli ortalama yaklaşımlarında hata düzeyleri belirgin biçimde yükselmiştir. HO-3 için MAPE = 10,751, HO-5 için ise MAPE = 16,834 olup, özellikle HO-5'in MAD = 2,848×10⁵ ve MSD = 8,344×10¹⁰ değerleri yöntemin artış eğilimini yeterince yakalayamadığını göstermektedir. Basit üstel düzeltme (MAPE = 6,154, MAD = 9,000×10⁴, MSD = 1,136×10¹⁰) hareketli ortalamaya göre daha iyi olmakla birlikte trend modellerinin gerisinde kalmıştır. Çift üstel düzeltme (Holt) ise trend bileşenini modele dahil ederek hata düzeyini belirgin biçimde düşürmüş (MAPE = 4,262, MAD = 6,212×10⁴, MSD = 4,568×10⁹) ve genel olarak trend modellerine yakın, dengeli bir performans ortaya koymuştur.

Çizelge 4. 2023–2024 Dış örneklem tahmin sonuçları ve sapma oranları (TEU)

Model	2023	2024	% Sapma
Doğrusal Trend Analizi	1.994.205	2.081.106	9,25
Parabolik Trend Analizi	2.079.173	2.208.558	8,83
Üssel Trend Analizi	2.062.751	2.188.376	8,82
Hareketli Ortalama 3	1.837.244	1.837.244	12,64

Model	2023	2024	% Sapma
Hareketli Ortalama 5	1.748.301	1.748.301	16,87
Basit Üssel Düzeltme	1.893.261	1.893.261	10,51
Çift Üssel Düzeltme	2.033.158	2.120.346	9,46
Fiili Gerçekleşen	1.883.136	2.381.136	

Çizelge 4'e göre fiili gerçekleşen değerler 2023'te 1.883.136 TEU, 2024'te 2.381.136 TEU olup, modellerin dış örneklem performansı % sapma ölçütüyle karşılaştırılmıştır. Buna göre en düşük sapma Üssel Trend Analizi ile elde edilmiştir (% sapma = 8,82). Üssel trend modelini çok yakın bir performansla Parabolik Trend Analizi (%8,83) ve Doğrusal Trend Analizi (%9,25) izlemiştir. Bu sonuç, 2012–2022 eğitim dönemindeki artış eğiliminin 2023–2024 doğrulama dönemine taşınmasında trend tabanlı modellerin göreli olarak daha isabetli bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

Buna karşılık yumuşatma temelli yöntemlerde sapma düzeyleri yükselmiştir. Çift üstel düzeltme (Holt) %9,46 ve basit üstel düzeltme %10,51 sapma üretirken; hareketli ortalama yaklaşımları özellikle zayıf kalmış (HO-3: %12,64; HO-5: %16,87). Bu bulgu, hareketli ortalama ve basit üstel düzeltmenin yapısı gereği son dönem ortalamasını/ seviyesini ileriye taşıması nedeniyle kısa vadede tahminleri sabit bir değer etrafında toplaması ve 2024'teki belirgin artışı yakalamakta yetersiz kalmasıyla uyumludur (Makridakis vd., 1998; Hyndman ve Athanasopoulos, 2021). Genel olarak modellerin büyük kısmı 2024 değerini eksik tahmin etmiş; bu durum, doğrulama döneminde (özellikle 2024'te) seride ivmelenme/sıçrama etkisinin güçlendiğine işaret etmektedir.

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Ege Bölgesi limanlarında konteyner elleçleme tahmini için model seçiminin yalnızca eğitim dönemi uyumuna (R^2, R^2_adj) değil, dış örneklem doğrulama performansına dayandırılması gerektiği görülmektedir. Nitekim trend regresyonlarının tamamı istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,001$) ve eğitim döneminde çok yüksek uyum düzeyleri üretmektedir (R^2=%97,11–%98,18; R^2_pred=%94,94–%97,12). Ancak tahmin amaçlı değerlendirmede belirleyici olan ölçüt, 2023–2024 gerçekleşen değerlere yakınlığı yansıtan % sapma olup, çalışma bu kriteri nihai karar değişkeni olarak benimsemiştir.

Hata ölçütleri açısından bakıldığında da (Çizelge 3), en düşük MAPE/MAD/MSD değerlerinin genel olarak trend ailesinde yoğunlaşması, trend bileşeninin seriyi açıklamada kritik olduğunu teyit etmektedir; buna karşın hareketli ortalama (özellikle HO-5) ve basit üstel düzeltme yaklaşımlarının daha yüksek hata ürettiği görülmektedir. Ayrıca 2024 yılında oluşan belirgin sıçrama, kısa vadeli öngörüde "mevcut eğilimin sürmesi" varsayımının önemini artırırken; pencere ortalamasına dayalı yöntemlerin artış hızını yakalamakta neden zorlandığını da açıklamaktadır.

Sonuç olarak, dış örneklem doğrulama performansını esas alan seçim yaklaşımıyla Ege Bölgesi için en uygun model Üssel Trend Analizi olarak belirlenmiştir; Parabolik ve Doğrusal trend modelleri ise çok yakın sapma değerleriyle ikincil/alternatif seçenekler olarak

değerlendirilebilir. Bu bulgular, liman/terminal yönetiminde kapasite ve kaynak planlaması (saha kullanımı, ekipman tahsisi, işgücü planı ve hinterlant bağlantılarının yönetimi) için tahminin bir karar-destek girdisi olarak stratejik önemini desteklemektedir. Bununla birlikte, analizlerin yıllık frekansta tek değişkenli seriyle yürütülmesi ve dışsal sürücüler (makroekonomi, yatırım/kapasite artışları, mevzuat, şoklar) modele dahil edilmemesi çalışmanın temel sınırlılığıdır; gelecek çalışmalarda daha yüksek frekanslı verilerle ETS/ARIMA gibi alternatiflerin denenmesi, yapısal kırılmaların ayrıca test edilmesi ve 2025 ve sonraki dönem için güncellenmiş öngörülerin düzenli raporlanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Armstrong, J. S., *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*, Springer/Boston, 2001.

Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., Ljung, G. M., *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, John Wiley & Sons/Hoboken, NJ, 2015.

Brown, R. G., *Statistical Forecasting for Inventory Control*, McGraw-Hill/New York, 1959.

Çelik, Y., Yorulmaz, M. Türkiye'deki Konteyner Terminallerinin Performans İncelemesi ve Mersin Limanı için Performans Gelişim Önerileri, Journal of Turkish Operations Management, January, 7,1, 2023, pp.1531-1549.

Deniz, E., *Regional Distribution of Handled Containers at Turkish Ports*, VI. International Applied Statistics Congress (UYIK-2025), 524-533, Ankara, 2025.

Diebold, F. X., Elements of Forecasting (4th ed.), South-Western Cengage Learning/Mason, OH, 2012.

Durbin, J., Watson, G. S. Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression: I, Biometrika, December, 37,3/4, 1950, pp.409-428.

Eren, A., Yıldırım, D., Gökkuş, Ü., *Kuzey Ege konteyner limanı açık depolama sahasının boyutlandırılmasında uygun elleçleme ekipmanının seçimi*. 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 621-634, Trabzon, 2011.

Gardner Jr, E. S. Exponential Smoothing: The State of the Art, Journal of Forecasting, January, 4,1, 1985, pp.1-28.

Hyndman, R.J., Athanasopoulos, G., Forecasting: *Principles and Practice, 3rd Edition*, OTexts/Melbourne, 2021.

Hyndman, R. J., Koehler, A. B. Another Look at Measures of Forecast Accuracy, International Journal of Forecasting, October, 22,4, 2006, pp.679–688.

Jansen, M., Forecasting Container Cargo Throughput in Ports, Master's Thesis, Urban, Port and Transport Economics, Erasmus School of Economics, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2013.

Kılınç, G., Karaatlı, M., Ömürbek, N. Türkiye Limanlarındaki Konteyner ve Yük Elleçleme Hacimlerinin YSA ve NARX Modeli ile Öngörülmesi, Verimlilik Dergisi, June, 2, 2022, pp.251-266.

Kurt, I. Investigation of Containerization Development and Volumetric Concentration in Türkiye, Gemi ve Deniz Teknolojisi, March, 224, 2024, pp.78-96.

Ljung, G. M., Box, G. E., On a Measure of Lack of Fit in Time Series Models (No. MRCTSR1790), University of Wisconsin–Madison/Department of Statistics, Madison, 1977.

Makridakis, S., Wheelwright, S. C., Hyndman, R. J., Forecasting: Methods and Applications (3rd Edition), John Wiley & Sons/New York, 1998.

Montgomery, D. C., Jennings, C. L., Kulahci, M., Introduction to Time Series Analysis and Forecasting, John Wiley & Sons/Hoboken, NJ, 2015.

Notteboom, T. E., Winkelmans, W. Structural Changes in Logistics: How Will Port Authorities Face the Challenge?, Maritime Policy & Management, February, 28,1, 2001, pp.71-89.

Özgür, E. M., *Türkiye limanlar,*. Ankara Üniversitesi Yayınları, Ankara, 2015.

Özkara, M., Çetinkaya, V., Deveci, D. A. Konteyner Taşımacılığı Aktarma Limanı Seçimi: Doğu Akdeniz Limanlarına Yönelik Bir İnceleme, Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi, January, 7,1, 2025, pp.1-43.

Rodrigue, J.-P., The Geography of Transport Systems (4th Edition), Routledge/New York and London, 2016.

Stephens, M. A. EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons, Journal of the American Statistical Association, September, 69,347, 1974, pp.730-737.

Stock, J. H., Watson, M. W., Introduction to Econometrics (3rd ed.), Pearson Education/London, 2015.

Türkiye Liman İşletmecileri Derneği (TÜRKLİM), Sektör İstatistikleri, https://www.turklim.org/sektor-istatistikleri/ (Erişim tarihi: 17.10.2025).

UNCTAD, Review of Maritime Transport 2023, United Nations Conference on Trade and Development/Geneva, 2023.

UTİKAD, Türkiye Lojistik Sektörü Raporu 2024, Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenleri Derneği/İstanbul, 2024.

Zeng, F., Xu, S. A Hybrid Container Throughput Forecasting Approach Using Bi-Directional Hinterland Data of Port, Scientific Reports, January, 14,1, 2024, Article No: 25502.

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

PV SİSTEMLERDE DEĞİŞKEN ÇEVRESEL KOŞULLARDA FARKLI MPPT ALGORİTMALARININ PERFORMANS VE SİSTEM STABİLİTESİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Tuğçe ÇEVRİM
Başkent Üniversitesi
FBE, Enerji Mühendisliği ABD

Tahir YAVUZ
Başkent Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Fotovoltaik (PV) sistemlerin toplam enerji dönüşüm verimliliği, Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) algoritmalarının çevresel dinamiklere karşı gösterdiği kararlılık ve doğruluk ile parelel olarak çalışmada, endüstriyel temelleri oluşturan Değiştir ve Gözle (P&O) ve Artımsal İletkenlik (INC) gibi geleneksel yöntemler ile Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) temelli meta-sezgisel ve Hibrit mimarilerin yıllık enerji verimlilikleri ve sistem stabilite karakteristikleri üzerine kapsamlı bir sayısal analiz sunmaktadır. Ankara lokasyonu için 2023 yılına ait gerçek meteorolojik girdiler (PVGIS, CEC) kullanılarak, Python tabanlı bir simülasyon ortamında 100 kWp kapasiteli bir PV sistemi Tek Diyot Modeli (SDM) üzerinden modellenmiştir. Kademeli senaryo kurgusuyla incelenen P&O algoritmasının, referans durumda kararsız hal salınımı ve sürüklenme (*drift*) problemi nedeniyle yıllık veriminin kritik derecede düşük (%65.62) olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın temel bilimsel katkısı olarak, P&O algoritmasına entegre edilen "Yön Hafızası" modifikasyonu ile algoritmanın yapısal eksikliği giderilmiş; bu sayede P&O'nun verimliliği %51 artış ile %99.04'e yükseltilmiş ve ideal güç eğrisiyle tam korelasyon (R_2=1.000) sağlanmıştır. Nihai bulgular, kararlı INC bileşeni ile PSO'nun küresel arama yeteneğini sentezleyen Hibrit (INC+PSO) mimarisinin %99.75 verim ile üst düzeyde pratik performansı ve istatistiksel olarak dar hata dağılımını sergilediğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, geleneksel MPPT algoritmaları için parametre ve yapısal modifikasyonun önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistemler, Değiştir ve Gözle, Artan İletkenlik, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Hibrit Algoritma, Enerji Verimliliği, Sistem Stabilitesi

GİRİŞ

Artan enerji talebi karşısında sürdürülebilir bir kaynak olan güneş enerjisi ve fotovoltaik (PV) sistemler, özellikle Türkiye gibi yüksek güneşlenme potansiyeline sahip ülkeler için kritik öneme sahiptir. Ancak PV sistemlerin verimliliği; sıcaklık, ışınım ve gölgeleme gibi çevresel faktörlere bağlı olarak doğrusal olmayan bir güç değişimi gösterir. Panellerden anlık olarak alınabilecek en yüksek gücü (Maksimum Güç Noktası - MPP) yakalamak için MPPT algoritmaları kullanılmaktadır.

Güneş panellerinin I-V karakteristikleri doğrusal değildir. Sıcaklık ve ışınım değişiminden dolayı enerji verimliliğini arttırmak adına aktif güç kontrolü zorunlu kılmaktadır. Güneş panelinden maksimum güç almak için bir DC/DC dönüştürücü, PV paneliyle yük arasına bağlanarak empedans dengelemesi yapılmaktadır. DC/ DC dönüştürücünün dönüştürme oranı maksimum güç noktası takibi (MPPT) olarak isimlendirilen algoritmalar ile kontrol edilerek güneş panelinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlar. DC/ DC dönüştürücünün simülasyon yazılımı içerisinde devrenin davranışını matematiksel durum denklemleri üstlenmektedir. Algoritma fiziksel bir PWM sinyali üretmek yerine sayısal kontrol değişkeni (V_{ref}, I_{ref}) üretir [1].

Geleneksel yöntemler (P&O ve INC), sabit koşullarda başarılı olsa da hızlı değişen atmosferik koşullarda "sürüklenme (drift)" ve parçalı bulutlanma durumlarında "yerel maksimumlara takılma" gibi sorunlar yaşamakta, bu da enerji kaybına yol açmaktadır. Çalışma, bu sorunları aşmak için geleneksel, meta-sezgisel (PSO) ve hibrit mimarileri karşılaştırmayı ve iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada, Python tabanlı bir simülasyon ortamında Tek Diyot Modeli (SDM) üzerinden 100 kWp kapasiteli bir PV sistemi modellenmiştir. Analizlerde Ankara (39.93°K, 32.86°D) lokasyonuna ait 2023 yılı gerçek meteorolojik verileri (PVGIS) küresel ışınım, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı kullanılmıştır. Panel özelliklerini modülün tüm elektriksel (Voc, Isc) parametrelerini, tek bir panelin gücü için sabit değer tanımlamak yerine Pvlib CEC (California Energy Commission) modülü veritabanından dinamik olarak kullanır. Algoritma performansları dört aşamalı senaryo ile (standart referans, parametrik optimizasyon, hibrit yapı ve modifikasyon) test edilmiştir.

Çalışmanın deneysel analizleri; standart parametrelerle referans performansın belirlendiği, ardından parametrik optimizasyon ve hibrit yapı modifikasyonlarının uygulandığı ve son olarak P&O algoritmasındaki sürüklenme probleminin 'Yön Hafızası' entegrasyonu ile giderildiği, INC algoritmasına değişken adım mantığı entegre edilerek simülasyon dört aşamalı ve sistematik adımlarla gerçekleştirilmiştir.

Analizler sonucunda; özellikle PSO algoritmasının adaptif parametrelerle (değişken atalet ağırlığı) ideal MPP'ye yüksek doğrulukla yakınsadığı, yön hafızalı P&O algoritmasının, karmaşık işlemlere gerek kalmadan %99 üzerinde verimliliğe ulaşarak hibrit ve sezgisel yöntemlerle rekabet edebilir seviyeye geldiği ve değişken adımlı INC algoritması ile kararlı hal salınımlarını azaltarak sistem stabilitesinin arttırılmasının, sistemin toplam verimliliğine kümülatif katkısı olarak simülasyon sonuçlarında kanıtlanmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Fotovoltaik (PV) sistemlerde maksimum güç noktası takibi (MPPT), sistem verimliliğini doğrudan etkileyen en kritik faktörlerden biridir. Literatürde, değişken atmosferik koşullar altında PV panellerden maksimum gücü çekebilmek adına birçok farklı algoritma önerilmiştir. Bu çalışmalar temel olarak; P&O ve INC gibi geleneksel yöntemler, PSO ve Yapay Sinir Ağları gibi yapay zeka tabanlı yöntemler ve bu iki grubun avantajlarını birleştiren hibrit yöntemler olarak sınıflandırılabilir.

2.1. GELENEKSEL MPPT YÖNTEMLERİ (P&O ve INC)

Literatür, endüstriyel standart olan Değiştir ve Gözle (P&O) ile Artırımsal İletkenlik (INC) yöntemlerinin, özellikle değişken koşullarda yetersiz kaldığını vurgulamaktadır:

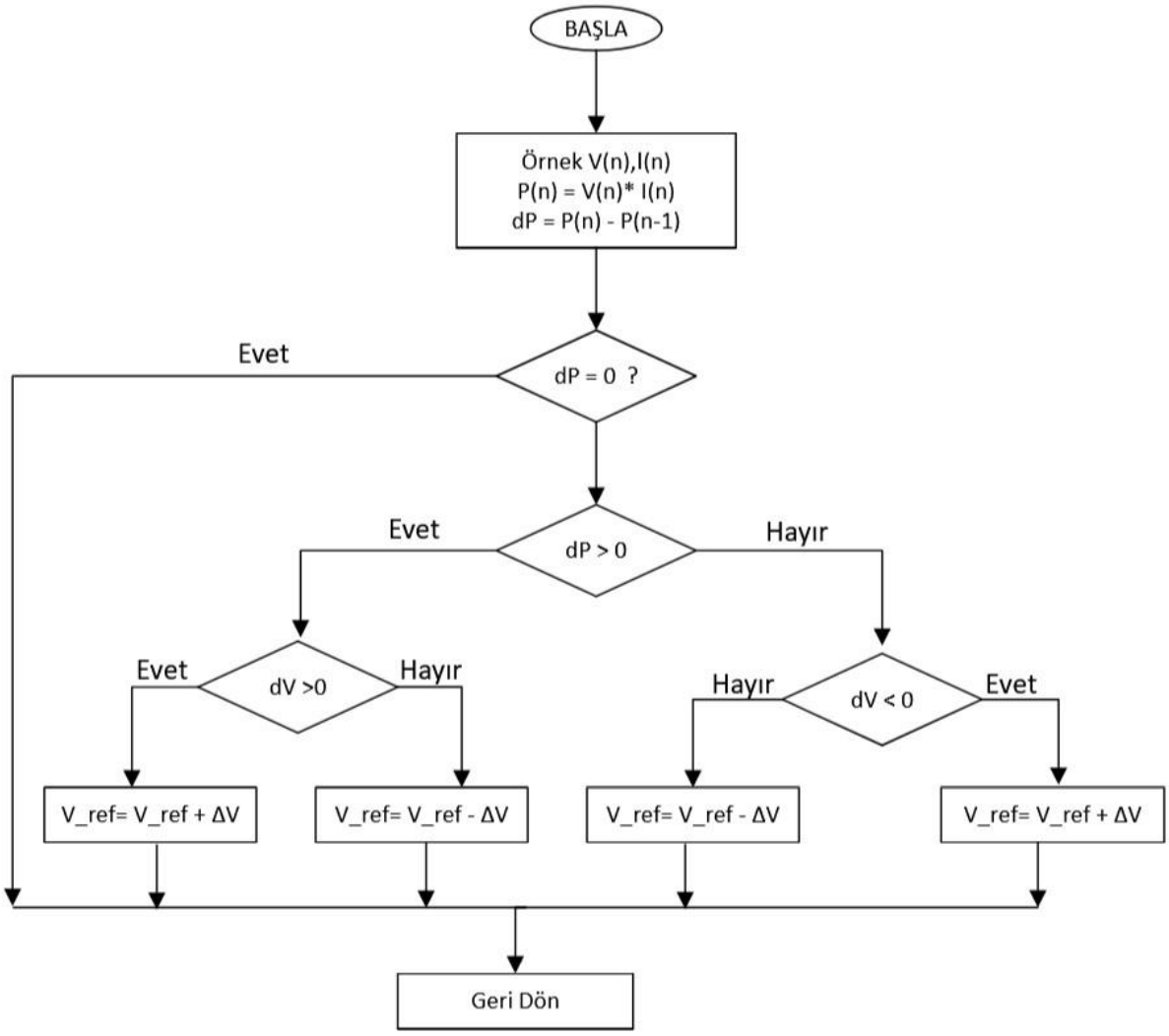
Hussein ve ark. [2], hızlı değişen atmosferik koşullarda P&O'nun yetersiz kaldığını belirtmiştir. Daha spesifik olarak Javed ve ark. [3] ile Paliyal ve ark. [4], P&O'nun sabit adım aralığı kullanması nedeniyle kararlı hal salınımları (steady-state oscillation) yaşadığını ve bunun enerji kaybına yol açtığını raporlamıştır. Bhattacharjee ve ark. [5] ise P&O ile Yapay Sinir Ağları (YSA) tabanlı yöntemleri karşılaştırdıklarında, bu geleneksel yöntemlerin, sistemin doğrusal olmayan dinamikleri karşısında zayıf kaldığı sonucuna varmıştır.

INC ve Karmaşıklık: Türev tabanlı yapısı sayesinde INC yöntemi, P&O'da görülen "sürüklenme (drift)" problemini minimize etse de [6], içerdiği matematiksel bölme ve türev işlemleri mikrodenetleyicilerde işlem yükünü ve sistem maliyetini artırmaktadır [7].

Geleneksel yöntemlerin bu kısıtlarını aşmak amacıyla son yıllarda Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) gibi meta-sezgisel yöntemler ve hibrit algoritmalar geliştirilmiştir[8].

P&O (Değiştir ve Gözle) algoritması çalışma prensibi, panel gerilimini periyodik olarak küçük bir miktar (dV) değiştirip (bozup) güçteki değişimi (dP) gözlemlemeye dayanır. Eğer bozunma sonucu güç artıyorsa ($P>0$), algoritma aynı yönde ilerler; güç azalıyorsa ($dP<0$) algoritma bozunma yönünü tersine çevirir. MPP'ye ulaşıldığında ($dP\approx0$), algoritmanın MPP etrafında sürekli salınım yapması, herhangi bir bozunmanın güçte düşüşe neden olmasıyla birlikte en büyük dezavantajı olarak kabul edilir [2,9].

Bu çalışmada analiz edilen simülasyon-1 senaryosunda, temel P&O algoritmasının akış diyagramı Görsel 1’de verilmiştir.



Görsel 1. P&O Değiştir ve Gözle) Algoritması Akış Diyagramı

Burada, algoritma sadece anlık gücün, bir önceki güce göre değişimin izlemektedir. P&O algoritmasının temel prensibi, güç artıyorsa o yönde gitmeyi, güç azalıyorsa geri dönmek prensibine dayanmaktadır. Ancak I-V eğrisinin sol tarafında (düşük voltaj bölgesi) gerilimi artırarak gücü artırmak doğru iken, sağ tarafta gerilimi azaltarak güç arttırılmaktadır. Algoritmanın bir sonraki adımda güç artışından kaynaklı gerilimi arttırmasına yol açabilmektedir. Algoritma, bu senaryoda sadece güçteki değişime odaklanarak voltajı değiştirme davranışı sergilemektedir. Maksimum güç noktasına ulaştıktan sonra gerilimi azaltmak tekrar gücü arttırmak için gerekmektedir. Algoritma burada kodun "güç arttıysa gerilimi arttır" komutunu uygulayarak, panelin açık devre gerilimine (Voc) ulaşmasına, panelde üretilen gücü sıfıra düşerek maksimum güç noktasında sürekli sürüklenme ve güç kayıplarına sebebiyet vermektedir.

Artımlı İletkenlik (INC) algoritması, fotovoltaik panelin karakteristik Güç-Gerilim (P-V) eğrisinden faydalanır.Bu yöntem, eğri türevinin Maksimum Güç Noktasında (MPP) sıfıra eşit

olduğu ($\frac{\partial P}{\partial V} = 0$) matematiksel ilkesine dayanmaktadır. Yöntemin temel prensibi, panelin anlık iletkenliği ($\frac{I}{V}$) ile artımsal iletkenliğinin ($\frac{\partial I}{\partial V}$) sürekli karşılaştırılması esasına dayanır [2].

Bu algoritmanın oluşturulması için panelin gücünden yola çıkılmaktadır.

$$P = VI \tag{1}$$

Güç denkleminden gücün maksimum olması için gerekli şartlar irdelenirse, güç denkleminin gücün volta göre kısmı trevi alınırsa,

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \partial\,(VI) \tag{2}$$

(1) denklemi kullanılarak

$$\frac{\partial P}{\partial V} = I + V\frac{\partial I}{\partial V} \tag{3}$$

elde edilir. Maksimum güç noktasında gücünV'ye göre türeci 0 alınarak,

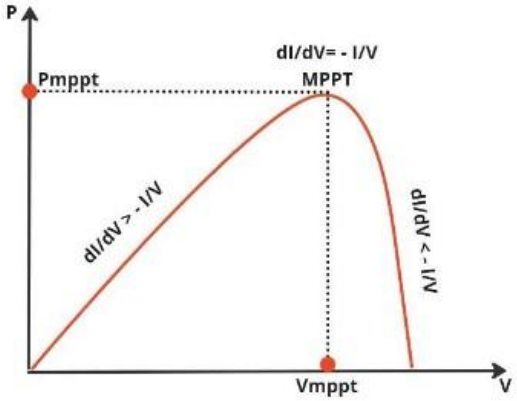
$$\frac{\partial P}{\partial V} = 0 \tag{4}$$

maximum güç noktasında

$$\frac{\partial I}{\partial V} = -\frac{I}{V} \tag{5}$$

elde edilir.

Görsel 2'de artımsal iletkenlik maksimum güç noktası algoritmasına ait P-V karakteristiği eğrisinde görüldüğü gibi $\frac{\partial P}{\partial V} = 0$ eşitliğin sağlandığı nokta sistemin maksimum güçte çalıştığı anı temsil eder. Eğer $\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}$ *i*se çalışma noktası MPP'nin solundadır ve gerilimin artırılması, $\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}$ ise çalışma noktası MPP noktasının sağındadır ve gerilim azaltılması gerekmektedir.



Görsel 2. Artımsal İletkenlik MPPT Algoritması P-V Karakteristik Eğrisi

Türev tabanlı bir yapıya sahip olması, INC algoritmasının atmosferik değişiklikleri (ışınım ve sıcaklık) P&O yöntemine kıyasla daha hızlı ve doğru tespit etmesini sağlar. Bu özellik, yöntemi özellikle hızlı değişen hava koşulları için ideal bir aday yapar ve P&O'da görülen hatalı izleme (drift) problemini minimize eder[10]. Ancak INC algoritmasının uygulanması, içerdiği matematiksel bölme ve türev işlemleri nedeniyle P&O yöntemine göre daha karmaşıktır. Bu durum, sistemin hesaplama yükünü artırarak, düşük işlem kapasitesine sahip mikrodenetleyicilerde tepki sürelerinin uzamasına ve sistem maliyetinin artmasına neden olabilmektedir [11].

1.2.YAPAY ZEKA VE META-SEZGISEL TABANLI MMPT YÖNTEMLERİ

Gerçek dünya problemlerinin karmaşıklığı ve kesin çözüm üreten algoritmaların yüksek işlem maliyetleri, araştırmacıları daha hızlı ve esnek yöntemlere yöneltmiştir. Doğadan esinlenen ve sadece amaç fonksiyonunun değiştirilmesiyle farklı problemlere uygulanabilen meta sezgisel algoritmalar, çözüm uzayını etkin tarayarak en uygun değişken değerlerini tespit etmeyi amaçlar. Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilen ve kuş sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenen bu yöntemde, "parçacıklar" (çözüm adayları) arama uzayına rastgele dağıtılır. Her parçacık, kendi en iyi konumunu (p_{best}) ve sürünün en iyi konumunu (g_{best}) hafızasında tutarak hareket eder. Parçacıklar, her iterasyonda hızlarını ve konumlarını bu referans noktalarına göre güncelleyerek en iyi çözüme yaklaşmaya çalışır. Bu meta-sezgisel yöntem, parçacıkların hız (Vik) ve konum (χik) güncellemeleriyle global en iyi noktayı (gbest) aramasını temel alır. PSO, türev işlemine ihtiyaç duymadan çoklu tepe noktalarının (LMPP) bulunduğu gölgeleme durumlarında dahi Küresel Maksimum Güç Noktasına (GMPP) yüksek başarıyla ulaşmasını sağlar [12,13]

Parçaçık Sürüsü Optimizasyonu Matematiksel Formülasyonu: Hız Güncelleme Denklemi her bir $i.$ parçacığın k+1 iterasyondaki hız vektörü,

$$\mathcal{V}_i^{k+1} = \omega.\, \mathcal{V}_i^k + c_1.r_{1.}\,(\, p_{best,i} - \chi_i^k) + c_2.r_{2.}\,(g_{best} - \chi_i^k) \qquad (6)$$

denklemi ile hesaplanır. Konum güncelleme denklemi hız güncellendikten sonra, parçacığın yeni konumu χ_i^{k+1}

$$\chi_i^{k+1} = \chi_i^k + \mathcal{V}_i^{k+1} \qquad (7)$$

denklemi ile verilir.

Parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması sembolleri ve açıklamaları Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması sembolleri ve açıklamaları

Sembol	Tanım	Açıklama
$\mathcal{V}_i^k$	Hız vektörü	$i.$ parçacığın k.iterasyondaki hızı/ parçacığın konum değişim hızı

χ_i^k	Konum vektörü	i.parçacığın k. iterasyondaki konumu (MPPT uygulamalarında bu genellikle Duty Cycle (D) veya Referans Voltaj (V_ref) değerine karşılık gelir.
ω	Eylemsizlik (atalet) ağırlığı	Önceki hızın mevcut hıza etkisini kontrol eder [20]. Küresel arama (exploration) ile yerel arama (exploitation) arasındaki dengeyi sağlar.
c_1	Bilişsel katsayı	Parçacığın kendi en iyi deneyimine (p_{best}) ne kadar yöneleceğini belirleyen hızlanma katsayısıdır.
c_2	Sosyal katsayı	Parçacığın sürünün en iyi deneyimine (g_{best}) ne kadar yöneleceğini belirleyen hızlanma katsayısıdır.
r_1, r_2	Rastgele değerler	[0, 1] aralığında düzgün dağılım gösteren rastgele sayılardır. Hız denkleminde stokastik (rassal) davranışı sağlayarak yerel tuzaklardan kurtulmaya yarar.
$p_{best,i}$	Kişisel en iyi	i.parçacığın o ana kadar ulaştığı en iyi uygunluk değerine sahip konum.
g_{best}	Global en iyi	Tüm sürüdeki parçacıklar arasında o ana kadar ulaşılan en iyi uygunluk değerine sahip konum.
$J(\chi_i^k)$	Uygunluk fonksiyonu	Sistemin çıkış gücü.

PSO algoritmasının temel amacı[13,14], PV panelden çekilen anlık gücü maksimize etmektir. Bu optimizasyon probleminde, her bir parçacığın (çözüm adayının) başarısı, o konumda (doluluk oranında) ürettiği güç miktarı ile ölçülür. Bu nedenle, algoritmanın uygunluk fonksiyonu sistemin çıkış gücü olarak tanımlanır,

$$J(\chi_i^k) = P_{PV}(\chi_i^k) = V_{PV}(\chi_i^k) \cdot I_{PV}(\chi_i^k) \quad (8)$$

Denklemde P_{PV} FV panelin çıkış gücü (Watt), V_{PV} ve I_{PV} PV panelin anlık gerilim ve akım değerlerini, χ_i^k i.parçacığın k. iterasyondaki konumunu tanımlamaktadır.
Lineer azalan atalet ağırlığı $\omega(k)$ olup

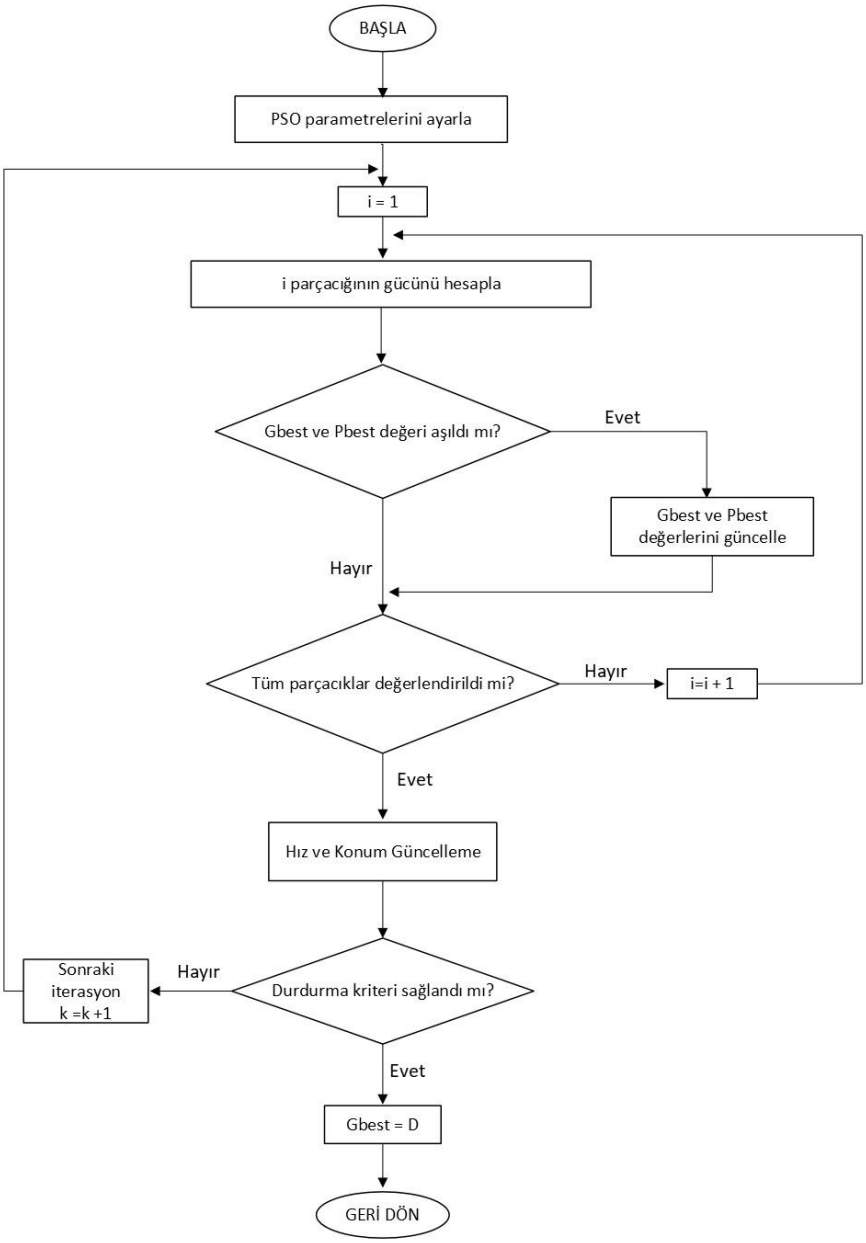
$$\omega(k) = \omega_{max} - \frac{\omega max - \omega min}{kmax} \times k \quad (9)$$

atalet ağırlığının iterasyon süresince ω_{max}=0.9'dan başlayıp ω_{min}=0.4'e lineer bir fonksiyonla düşürülmektedir. Denklemde k_{max} toplam iterasyon sayısıdır.

Görsel 3' de Parçacık Sürüsü Algoritması akış diyagramı verilmektedir. Diyagramda verilen adımların ve algoritmanın genel adımları aşağıda ifade edilmektedir.

Popülasyon oluşturulur. Parçacık sayısı (N=20), katsayılar (c1,c2), atalet ağırlığı sınırları (ωmax,ωmin) ve maksimum iterasyon sayısı (k_{max}) tanımlanır. Parçacıklara rastgele konum (χ_i^k) ve hız ($\mathcal{V}_i^k$) atanır. Ardından her iterasyonda her bir parçacık için karşılık gelen (P_{PV}) uygunluk değerini Denklem (8) hesaplar. Parçacığın en iyi değeri bulunur. Eğer parçacığın o anki gücü , hafızasındaki en iyi güç değerinden ($p_{best,}$) büyükse, karşılaştırma yapılarak $p_{best,}$ güncellenir.

Eğer bu güç değeri, tüm sürünün o ana kadar ulaştığı en yüksek güçten (g_{best}) büyükse, g_{best} güncellenir. Karşılaştırma işlemi tüm parçacıklar için yapılır. Karar bloğuna geçilerek, tüm parçacıkların değerlendirildi mi? sorusu ile toplam parçacık sayısına ulaşılıp ulaşılmadığı sorgulanmaktadır. Sonraki adımda ise her parçacığın hızı ve konumu ayarlanır. Burada Adaptif atalet ağırlığı devreye girer. Lineer azalan atalet ağırlığı Denklem (9) ile ω hesaplanır. Ardından Denklem (6)'daki formüle göre hız değişkeni ayarlanır ve denklem (7)'deki formüle göre parçacığın konumu ayarlanır. Bu işlem her bir parçacık için ayrı ayrı yapılır. Sonraki karar bloğu olan, durdurma kriterinin sağlanmasıdır. Algoritma tam tepe noktasını bulamasa da, maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında sonsuz döngüye girmemesi için durdurulur. Burada optimal görev döngüsü tamamlanarak, bulunan en iyi küresel konum (Gbest =D) sisteme uygulanmaktadır. Eğer durdurma kriter (leri) sağlanmadıysa sonraki iterasyon için döngü yeniden uygunluk değeri hesaplanarak başlamaktadır.



Görsel 3. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Algoritmasının Akış Diyagramı

Bu karşılaştırma mekanizması, algoritmanın arama uzayındaki en yüksek güç noktasını (GMPP) bulana kadar parçacıkları yönlendirmesini sağlar. Yapay zeka tabanlı bir meta-sezgisel yöntem olan PSO, bu özelliği sayesinde geleneksel yöntemlerin (P&O) aksine türev işlemlerine ihtiyaç duymaz ve çoklu tepe noktalarının (LMPP) bulunduğu parçalı gölgeleme durumlarında dahi kararlı bir şekilde en yüksek güce odaklanır [12].

PSO ve Geleneksel Yöntemlerin Performans Karşılaştırması yapılırsa; araştırmalar, PSO algoritmasının P&O yöntemine kıyasla daha hızlı yakınsama, daha yüksek izleme verimliliği ve kararlı durumda daha az salınım sağladığını göstermektedir [3]. Yapılan karşılaştırmalı bir analizde, PSO algoritmasının %98.54 ortalama verimlilik elde ettiği, buna karşılık P&O yönteminin %97.40 seviyesinde kaldığı raporlanmıştır [15].

Öte yandan, PSO yönteminin en belirgin dezavantajı hesaplama maliyetidir. Parçacık popülasyonunun başlatılması, konumların güncellenmesi, rastgele sayı üretimi ve daha fazla bellek depolaması gerektirmesi nedeniyle; PSO'nun işlem yükü, P&O gibi geleneksel tekniklere göre önemli ölçüde daha yüksektir [8]. Bununla birlikte PSO'nun performansı; atalet ağırlığı (ω), bilişsel (c_1) ve sosyal (c_2) hızlanma katsayıları gibi parametre ayarlarının doğru yapılmasına sıkı sıkıya bağlıdır [16].

HIBRIT MPPT YÖNTEMLERI

Geleneksel yöntemlerin hızı ile meta-sezgisel yöntemlerin doğruluğunu birleştiren hibrit yaklaşımlar, son yıllarda araştırmaların odak noktası olmuştur. Timur ve Uzundağ (2025), hibrit yöntemlerin özellikle kısmi gölgeleme durumlarında hem hız hem de kararlılık açısından optimum sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Gawande ve ark. [17] ile Indumathi ve Lakshmanan [18], hibrit yapıların tekil algoritmalara göre daha hızlı yakınsama sağladığını belirtmiştir. Jagtap [19] ise P&O ve INC tekniklerini kombine eden yaklaşımları incelemiştir. Li ve ark.[20], Gri Kurt ve PSO algoritmalarını birleştirmiş; Sujatha ve ark. [21] ise bulanık mantık destekli hibrit yapıları önermiştir.

ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Simülasyon öncesi yapılan teorik analizler ve literatür karşılaştırmaları, algoritmaların karakteristik davranışlarını ortaya koymaktadır.

ANALİZ SONUÇLARI

P&O ve INC algoritmaları, MPP noktası etrafında sürekli salınım yapma eğilimindedir. Endiz [22] tarafından belirtildiği üzere, bu sürekli arama hareketi "kararlı hal salınımlarına" (steady-state oscillation) neden olmakta ve kümülatif enerji kaybı yaratmaktadır.

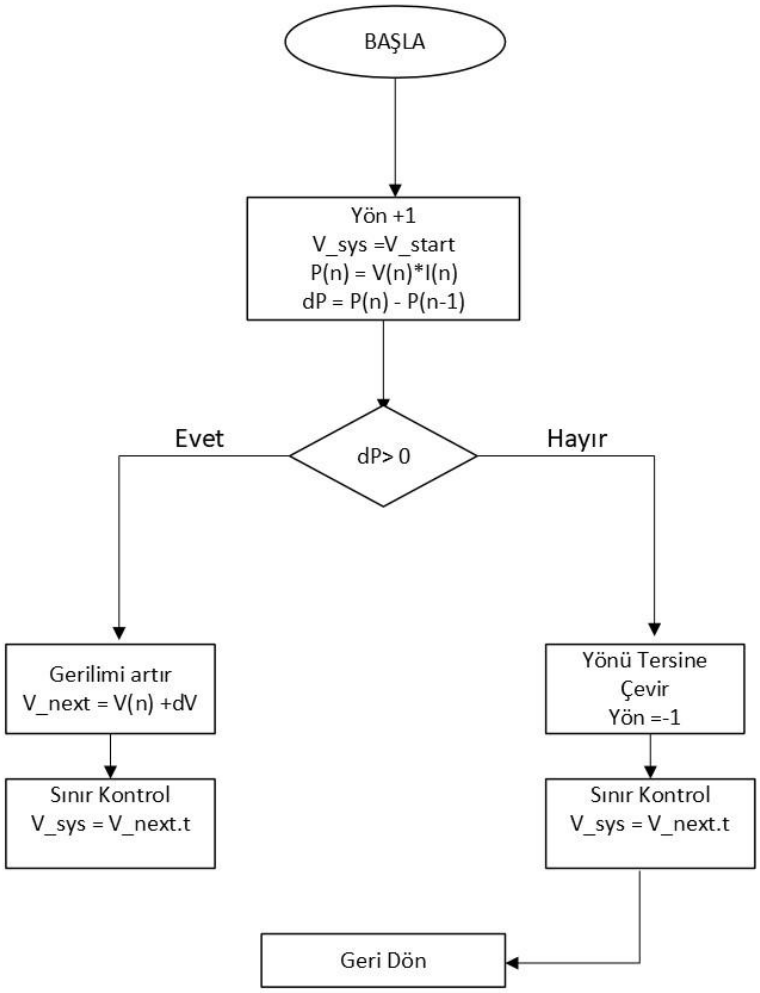
Fotovoltaik sistemlerin enerji üretim verimliliğinin maksimizasyonu, fiziksel konumlandırma ve elektriksel kontrol mekanizmalarının entegre optimizasyonuna dayanmaktadır. İlk aşamada, panellerin coğrafi konuma özgü optimum eğim ve azimut açılarıyla yerleştirilmesi, yüzeye düşen ışınım potansiyelini artırırken [23]; ikinci aşamada MPPT algoritmaları, bu potansiyelin elektriksel güce en az kayıpla dönüşümünü yönetmektedir [3,24]. Sıcaklık ve ışınım gibi çevresel parametrelerin anlık değişimleri, PV panellerin çıkış gücünde doğrusal olmayan dalgalanmalara yol açtığından [25,26], sistemin sürekli İdeal Güç Noktasında (MPP) tutulması;

kullanılan algoritmanın takip hızı, kararlılığı ve hata minimizasyon yeteneğine bağlı kritik bir performans göstergesidir [2,27].

Algoritmaların karşılaştırmalı analizinde; P&O ve INC gibi geleneksel yöntemlerin, MPP etrafında sürekli salınım (steady-state oscillation) yapması [4,5,7] ve ani atmosferik değişimlerde sürüklenme (drift) problemi yaşaması nedeniyle kümülatif enerji kayıplarına yol açtığı belirlenmiştir [2,28]. Özellikle kısmi gölgeleme durumlarında (PSC), bu yöntemlerin yerel maksimumlara (LMPP) takılarak verim düşüklüğüne neden olmasına karşın [15,29]; Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve hibrit yaklaşımlar, Küresel Maksimum Güç Noktasını (GMPP) hatasız takip edebilmektedir [12,13,18] Sonuç olarak, geleneksel yöntemlerin dinamik tepki hızı ile meta-sezgisel yöntemlerin küresel arama doğruluğunu birleştiren hibrit stratejiler, sistem kararlılığı ve toplam enerji verimliliği açısından en optimum çözüm olarak değerlendirilmektedir [23,24,30].

Geleneksel yöntemin aksine, bu algoritma kararlarını sadece güç artışına göre değil, en son gittiği yön bilgisine göre vermektedir. dP < 0 sorgusu ile gücün azalıp azalmadığı kontrol edilmektedir. Eğer güç azaldıysa algoritma Direction *= -1 işlemi ile yönünü derhal tersine çevirmektedir. Eğer güç arttıysa Direction değişkeni değiştirilmez ve sistem aynı yönde tırmanmaya devam etmektedir.

Böylece algoritmanın tepe noktasından (MPP) uzaklaşması engellenmektedir. Ani ışınım değişimlerinde bile doğru yönü bularak verimliliği %99.04 seviyesine çıkarmaktadır. Bu çalışmada analiz edilen simülasyon-3 senaryosunda, modifiye edilen yön hafızalı P&O algoritmasının akış diyagramı Görsel 4'de verilmiştir.



Görsel 4. P&O (Değiştir ve Gözle) Algoritması Simülasyon-3 Kurgusu Akış Diyagramı

Yapılan deneysel çalışmalarda elde dilen soonuçların, bu çalışma kapsamında yer alan algoritmaların performans kriterleri Çizelge 2'de karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 2. İncelenen MPPT Algoritmalarının Kararlılık, Doğruluk ve Hata Dağılımı, Verimlilik Açısından Karşılaştırılması

Algoritma	**Işınım/Sıcaklık Değişkenlerine Tepki ve Kararlılık**	**Verimlilik ve Hata Dağılımı**
P&O	Düşük Güvenilirlik ve Sürüklenme: Hızlı değişen atmosferik koşullarda, algoritma ışınım kaynaklı güç değişimini kendi adımından kaynaklanan değişimden ayırt edemez. Kararlı halde sürekli salınım yaparak stabiliteyi bozar [2,3].	Yüksek Hata ve Enerji Kaybı: MPP etrafındaki sürekli salınım, kaçınılmaz bir enerji kaybı kaynağıdır. Kısmi gölgeleme koşullarında (PSC) yerel maksimumlara (LMPP) takıldığı için verimliliği düşüktür [24].

INC	Orta/Yüksek Kararlılık: Türev tabanlı yapısı sayesinde atmosferik değişimleri P&O'dan daha hızlı tespit eder. Ancak hız ve salınım arasında bir denge (*trade-off*) sorunu vardır; adım boyutu küçüldükçe kararlılık artar ancak tepki süresi uzar [10].	Uygulama Zorluğu ve LMPP Riski: P&O'ya göre daha yüksek doğruluk sağlasa da, kısmi gölgeleme altında LMPP'ye takılarak hatalı güç üretimine neden olabilir. Hesaplama yükü ve uygulama karmaşıklığı daha yüksektir [11].
PSO	Yüksek Kararlılık ve Akıllı Takip: Çevresel parametrelerin değişiminden bağımsız olarak sistemi en az salınımla yönetir. Hızlı yakınsama yeteneği sayesinde gerilim ve akım dalgalanmalarını minimize eder [14].	Maksimum Verimlilik (GMPP): Geleneksel yöntemlerin aksine, çoklu tepe noktalarının olduğu gölgeleme durumlarında Küresel Maksimum Güç Noktasını (GMPP) hatasız takip eder. Ortalama Karesel Hatayı (MSE) minimize ederek en yüksek verimi sağlar [12].
HİBRİT	Optimize Edilmiş Hız ve Kararlılık: Geleneksel yöntemlerin (P&O/INC) hızlı dinamik tepkisi ile meta-sezgisel yöntemlerin (PSO) küresel arama yeteneğini birleştirir. Tekil algoritmalara kıyasla daha hızlı yakınsama sağlar ve sistem kararlılığını artırır [17].	Dengeli Verimlilik: Kısmi gölgeleme durumlarında (PSC) yerel maksimumlara takılmadan GMPP'yi bulabilir. Saf PSO'nun yüksek işlem yükünü azaltırken, P&O'nun salınım problemini minimize ederek optimum verimlilik/maliyet dengesi sunar [18,31].

Geleneksel yöntemlerin yerel maksimumlara takılma sorununu aşmak amacıyla kullanılan Adaptif PSO yönteminin temelini, iterasyon süresince dinamik olarak değişen "Lineer Azalan Atalet Ağırlığı" stratejisi oluşturur [11,12].

Bu stratejide, atalet ağırlığı (ω) simülasyon başlangıcında $\omega_{max} = 0.9$ değerinden başlayarak, iterasyon sonuna doğru $\omega_{min} = 0.4$ seviyesine lineer bir fonksiyonla düşürülür. Yüksek başlangıç değeri, 20 adet parçacığın arama uzayını geniş bir şekilde tarayarak küresel arama (exploration) yapmasını sağlarken; düşen ağırlık değeri, algoritmanın son aşamalarda en iyi çözüme odaklanarak yerel arama yeteneğini artırır. Algoritmada bilişsel (c_1) ve sosyal (c_2) öğrenme katsayıları sırasıyla 1.6 ve 1.8 değerine sahiptir.

Bu çalışmada, algoritmaların çıktılarını doğrudan sentezleyen "Ağırlıklı Lineer Birleşim" yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yöntemde, yerel arama yapan algoritma (P_{Local}) ile küresel arama yapan PSO algoritmasının (PPSO) çıktıları harmanlanarak nihai çıkış gücü (P_{Hybrid}) elde edilir,

$$P_{Hybrid} = (\omega_{Local} \times P_{Local}) + (\omega_{pso} \times P_{PSO}) \quad (10)$$

Simülasyonlarda ağırlık katsayıları, hibrit yapının karakteristiğini belirleyen ağırlık katsayıları sabit tutulmuştur. Yerel karakteristiğin katkısı, $\omega_{Local} = 0.30$ ve küresel başarının katkısı $\omega_{pso} = 0.70$ olarak belirlenmiştir. Ancak hibrit yapının Yerel Bileşen'i senaryolara göre değiştirilmiştir. Algoritmaların kontrol parametreleri ve değişkenlerine yönelik açıklamalar Çizelge 3 de verilmiştir.

Çizelge 3. Algoritmaların Kontrol Parametreleri, Değişkenlerine Çalışma Esaslarına İlişkin Açıklamalar

Algoritma	Ana Kontrol Değişkeni	Yardımcı Durum Değişkenleri	Parametreler	Açıklama
P&O	V_{ref}	direction_po, dV, dP	Adım boyu (ΔV)	Karar mekanizması için dV, dP gereklidir.
INC	V_{ref}	Artımsal iletkenlik (dI/dV) İletkenlik (I/V)	Kazanç(Gain), max_step	Algoritma, dI/dV ile $-I/V$ (anlık)iletkenlik değerini karşılaştırarak tepe noktasını bulur. dV = 0 Kontrolü yapılır.
PSO (Adaptif)	Konum, χ_i^k	Hız($\mathcal{V}_i^k$), G_{best}, P_{best}	Atalet (ω_{max}, ω_{min}), c_1,c_2, r_1, r_2	r_1, r_2 [0,1] aralığında rastgele değerlerdir.
Hibrit (Ağırlıklı Sentez)	V_{ref}	P_{Local}, P_{PSO}, P_{Hybrid}	Ağırlıklar (ω_{Local}=0.3, $\omega_{PSO} = 0.7$)	Yerel (P_{Local}) ve küresel (P_{PSO}) güç değerlerinin ağırlıklı lineer birleşimi ile nihai çıkış gücü hesaplanır.

DEĞERLENDİRMELER

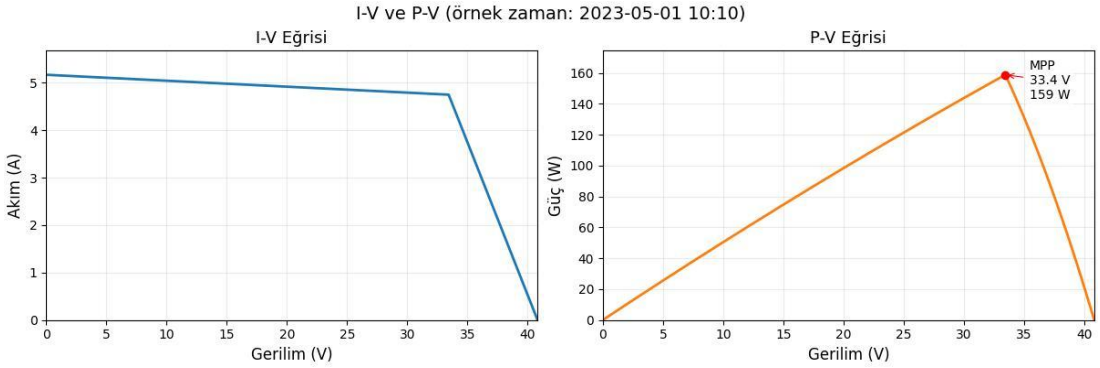
Çalışma, Python tabanlı özgün bir simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. PV modüllerin elektriksel karakteristiğini modellemek için literatürde yaygın kabul gören ve doğruluk oranı yüksek olan Tek Diyot Modeli (SDM) tercih edilmiştir. Simülasyon parametreleri, Ankara lokasyonunda (Enlem: 39.93°K, Boylam: 32.86°D) kurulu 100 kWp kapasiteli bir sistemi temsil edecek şekilde yapılandırılmıştır.

Sistem tasarımında, California Energy Commission (CEC) veritabanında yer alan Canadian Solar CS6X-300M monokristal PV modülleri referans alınmıştır. Sistem tasarımında modüller, 40° eğim açısı ve 180° (Güney) azimut açısı ile konumlandırılmış olup [23], her bir dizide 13 adet seri bağlı modül bulunmaktadır. Simülasyon genelinde toplam sistem kayıp faktörü %14, inverter ve DC-DC dönüştürücü verimliliği ise 0,96 olarak sabit kabul edilmiştir.

Çevresel veri girdisi olarak, Ankara lokasyonu için 2023 yılına ait saatlik ışınım, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı verileri PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) veritabanından temin edilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelinde MPPT algoritması, PV dizisinin çalışma gerilimini (Vpv) doğrudan referans değişken olarak kontrol etmektedir. Algoritma tarafından belirlenen gerilim adımlarının (ΔV), sistemin I-V karakteristik eğrisi üzerinde anlık çalışma noktasını güncellemekte ve DC-DC dönüştürücünün bu referans gerilimi ideal bir kararlılıkla takip ettiği varsayılmaktadır.

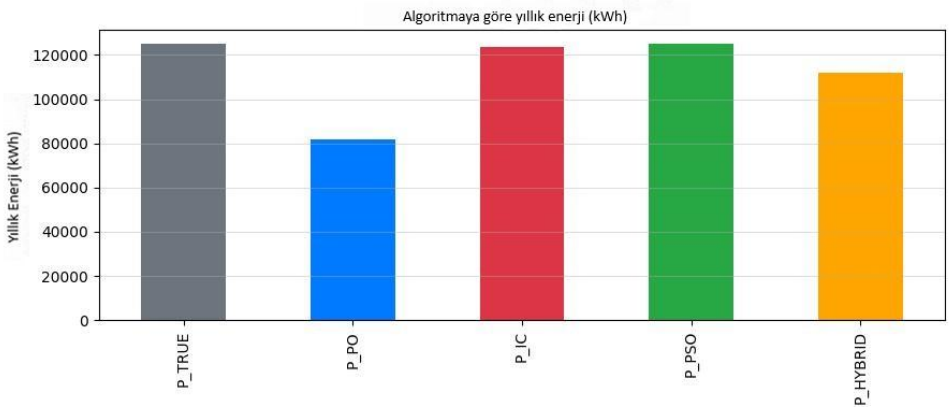
Elde edilen simülasyon verileri (P_{mpp}= 159 W, V_{mpp}= 33.4 V), ışınım şiddetinin orta seviyede olduğu dönem için, düşük hücre sıcaklığının voltaj avantajını ortaya koymaktadır. noktayı anlık olarak takip etmektedir. MPPT algoritması düşük ışınım koşullarında da I-V eğrisinin lineer bölgesinden (sabit akım), eksponansiyel bölgesine (sabit gerilim) geçiş noktasını başarıyla tespit etmiş ve sistemi 33.4 V referans gerilim değeri ile maksimum güç noktasındaki değer olup, panelin standart test koşullarında maksimum güç gerilim (V_{mp}= 36.5 V) değerine yakın olduğu görülmektedir.

Görsel 5'de, 1.5.2023 tarihi saat 10:10 itibariyle sistemin anlık elektriksel karakteristiği (I-V ve P-V eğrileri) verilmektedir.



Görsel 5. I-V ve P-V Karakteristiği

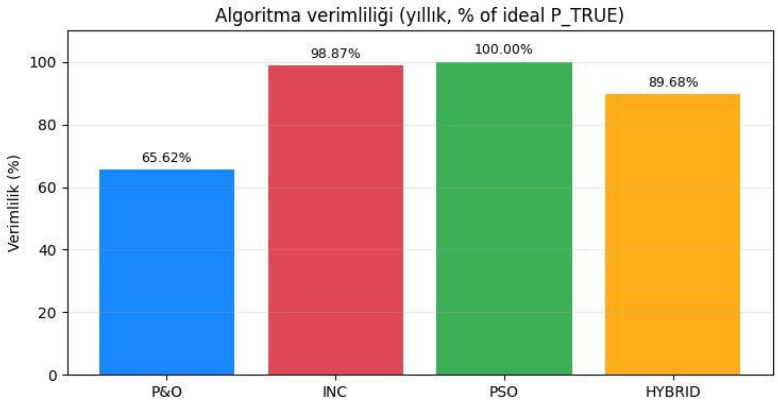
Simülasyon 1, referans durumda, her iki algoritma **(**P&O ve INC) için örnekleme frekansını temsil eden döngü hızı 30 adım, adım aralığı sabit 2.0 V olarak belirlenmiştir. P&O Algoritması, güç artış ve azalışına bağlı olarak voltajı belirlenen adım aralığıyla, güç artarsa aynı yöne azalırsa ters yöne çalışmaktadır. Ancak bu yöntem, ani ışınım değişimlerinde yön tayininde hatalar yaparak sürüklenme problemine yol açmaktadır. P&O algoritması, P_true referans değerinin altında kalmıştır. Hibrit yapı; P&O+ PSO olup, P&O'nun kararsızlığı, yerel bileşenin hatalı veri üretmesi ve yerel bileşene takılma sorununa karşı adaptif PSO hibrit yapının toplam verimliliğini %89,68 yaparak toplam performansı %90 altına düşürmektedir. Görsel 6'te PO algoritmasının yıllık enerji üretimi 81,991kWh, Görsel 7'te enerji verimliliğinin ise %65,62 değeriyle P_True referans değerin altında kaldığı görülmektedir.



Görsel 6. Simülasyon 1'de algoritmaların yıllık enerjilerinin teorik ideal güç (Ptrue) ile karşılaştırılması

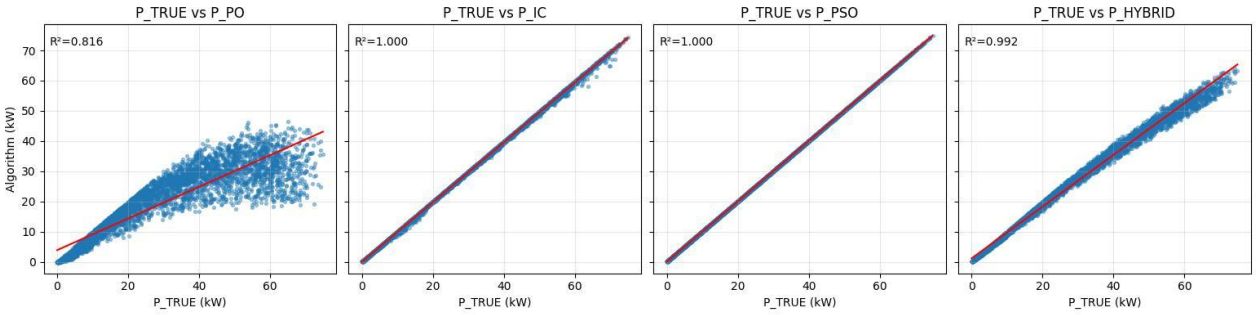
Hibrit algoritmanın P&O ya göre yıllık enerji farkı hesabı:

$$\text{Enerji Farkı} = \frac{E\ Hibrid - EP\&O}{E\ P\&O} \times 100 = \frac{112066.4 - 81991.7}{81991.7} \times 100 \approx \%36{,}68 \quad (11)$$



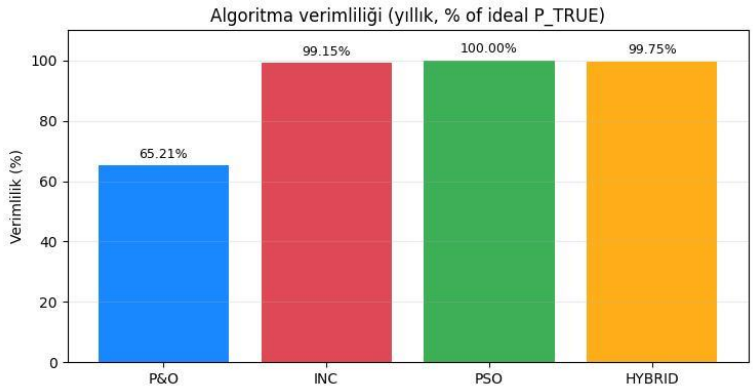
Görsel 7. Simülasyon 1'de algoritmaların yıllık verimlilikleri karşılaştırması

Bir diğeri sonuç, izleme doğruluğu R^2=0.816, P&O algoritmasında MPP nin altında çalışmaya neden olan geniş negatif hata dağılımı güç kaybını ortaya koymaktadır. İzleme doğruluğuna ait simülasyon sonuçları Görsel 8'te gösterilmektedir.



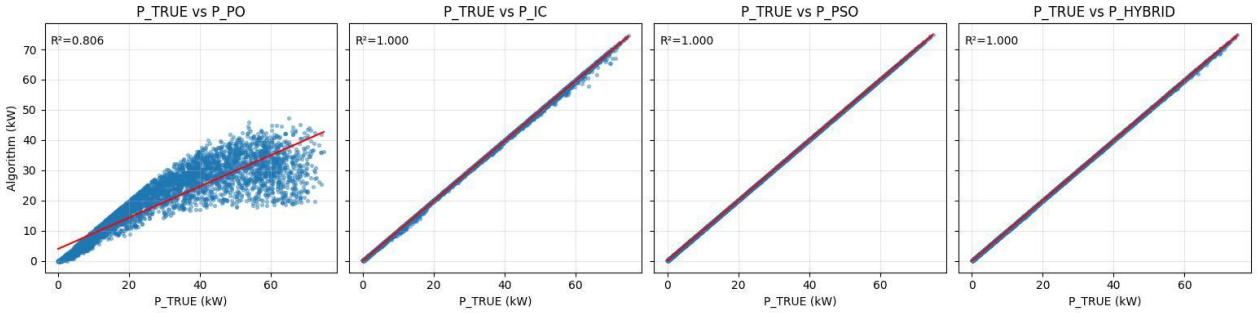
Görsel 8. Simülasyon 1'de algoritmaların doğruluk analizinin teorik ideal güç (Ptrue) ile karşılaştırılması

Simülasyon 2 ile Optimizasyon ve hibrit strateji değişiminde systemin hassasiyeti arttırılmış ve hibrit yapının zayıf halkası değiştirilmiştir. P&O da algoritmaların yakalama kapasitesini arttırmak için iç döngü sayısı 30 adımdan 60 adıma çıkartılarak, hem P&O hem INC için sabit adım aralığı salınımı azaltmak için 2.0 V'dan 1.0 V'a düşürülmüştür. P&O hibrit yapıdan çıkartılarak yerine daha kararlı INC entegre edilmiştir. Döngü hızını arttımak ve adım aralığını azaltmak, P&O'yu kurtarmamış aksine yavaşlatmıştır. Ancak hibrit yapı (INC + PSO) sistemin verimliliğini %99.75'e getirmektedir. Simülasyon sonuçları Görsel 9 'de görünmektedir.



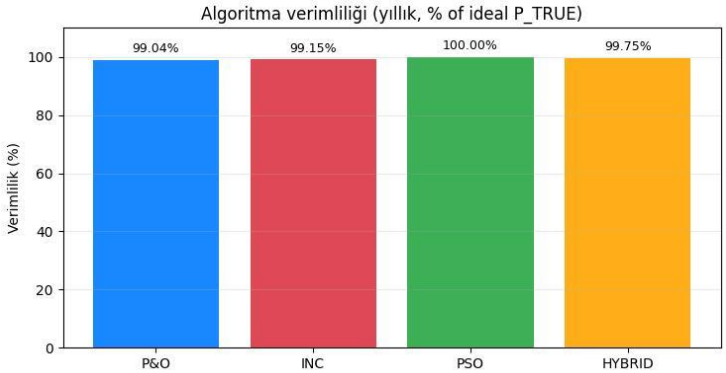
Görsel 9. Simülasyon 2'de algoritmaların yıllık verimlilikleri karşılaştırması

Hibrit yapıda türev tabanlı INC (artımsal iletkenlik algoritması ve adaptif PSO yapısı ideal güç doğrusu üzerinde tam uyum ($R^2 \approx 1.000$) sergilemiştir. Bu stratejik değişiklik, PSO'nun küresel arama yeteneği ile INC' nin kararlı takibini sentezleyerek, sistemin izleme hassasiyeti stabil hale getirilmiştir. Görsel 10'da doğruluk analizinin simülasyon sonuçları gösterilmektedir.



Görsel 10. Simülasyon 2'de algoritmaların doğruluk analizinin teorik ideal güç (Ptrue) ile karşılaştırılması

Simülasyon 3' de Modifikasyon aşamasında Hibrit yapı (INC+PSO), adım aralığı (1.0 V), döngü hızı(60 iterasyon) korunarak P&O algoritmasına "Yön Hafızası" (Direction Memory))if dP < 0: direction_po *= -1.0) entegrasyonu, simülasyon sonuçlarında P&O verimliliğini %65.21 den %99.04'e yani %50.93 seviyesinde verim artışı sağlamaktadır. Görsel 11'de algoritmaların yıllık verimlilikleri görünmektedir.



Görsel 11. Simülasyon 3'de algoritmaların yıllık verimlilikleri karşılaştırması

Yön hafızalı P&O ile elde edilen verim artışı

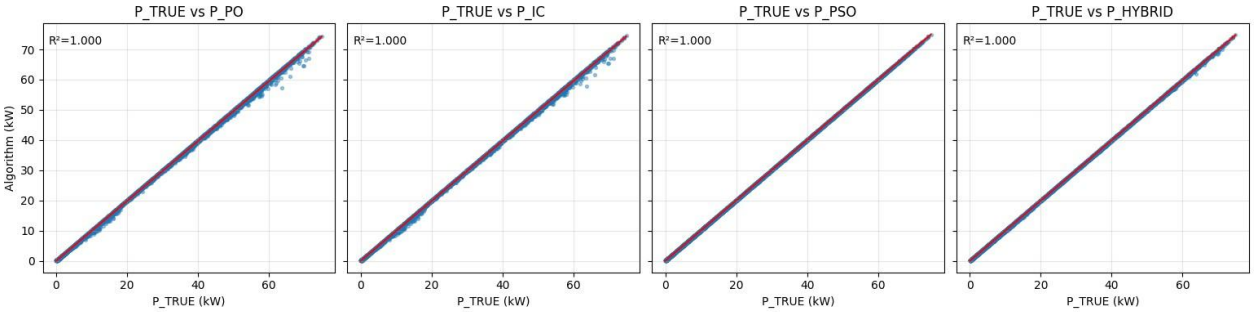
$\eta 2$: Simülasyon-2 P&O algoritmasının verimi,

$\eta 1 =$ Simülasyon-3 ‘ P&O algoritmasının verimi

$$\text{Verim Artışı (\%)} = \frac{\boldsymbol{\eta 2 - \eta\, 1}}{\boldsymbol{\eta\, 1}} = \frac{99.04-65.21}{\mathbf{65{,}21}} \times 100 \approx \%51{,}87 \qquad (12)$$

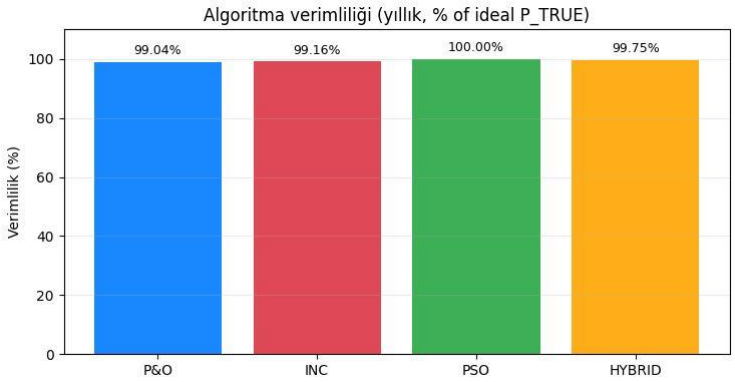
olarak elde edilmiştir

Simülasyon 3’de elde edilen doğruluk analizinin sonuçlarına bakıldığında P&O algoritmasının R^2=0.816 seviyesindeki doğruluk oranı, yön hafızası modifikasyonu sayesinde güç kayıplarının azaltılması sonucu ideal güç doğrusu üzerinde tam uyum (R2≈1.000) sergilemektedir. Görsel 12’ de doğruluk analizinin simülasyon sonuçları gösterilmektedir.



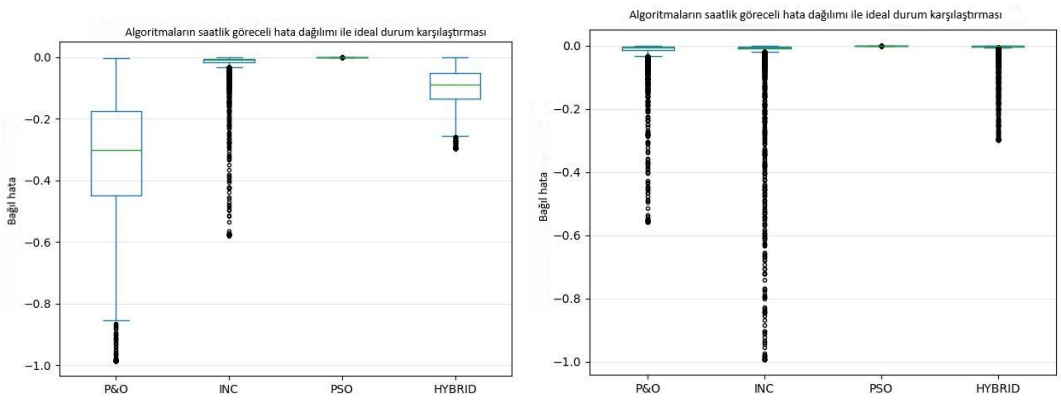
Görsel 12**.** Simülasyon 3’de algoritmaların doğruluk analizinin teorik ideal güç (Ptrue) ile karşılaştırılması

Simülasyon 4, önceki adımlarda optimize edilen 'Yön Hafızalı P&O' ve 'Adaptif PSO' yapılarının yanına, bu son aşamada INC algoritması da 'Değişken Adımlı1 hale getirilmiştir. INC algoritmasının hız ve kararlılık dengesini optimize etmek için değişken adım uygulanarak dinamik yapıya geçilmektedir. Adım büyüklüğü artık sabit 1.0 V değil, güç gerilim eğrisinin eğimine ($\frac{dP}{dV}$) ye göre dinamik hesaplanmaktadır. Hibrit yapı böylece tüm bileşenlerin gelişmiş ve ağırlıklı sentezi ile analiz edilmektedir. Güç-gerilim eğrisinin türevine (dP/dV) dayalı Artımsal İletkenlik (INC) algoritmasına uygulanan "Dinamik Adım" mantığı, çalışma noktası MPP'ye yaklaştıkça adım aralığını minimize etmiştir. Bu mekanizma, kararlı hal salınımlarını sönümleyerek sistem stabilitesini güçlendirmiş ve toplam verimliliğe kümülatif katkı sunmuştur.



Görsel 13. Simülasyon 4'de algoritmaların yıllık verimlilikleri karşılaştırması

Simülasyon-1 aşamasında elde edilen saatlik göreceli hata dağılımı (boxplot) analizinde; standart P&O algoritmasının negatif yönde yüksek asimetrik sapma gösterdiği ve hata varyansının -1.0 bandına kadar genişlediği tespit edilmiştir. Bu istatistiksel veri, algoritmanın sürüklenme (drift) nedeniyle MPP noktasından sıkça koptuğunu doğrulamaktadır. Ancak Simülasyon-4 aşamasında, P&O algoritmasına entegre edilen "Yön Hafızası" ve INC algoritmasına uygulanan "Değişken Adım" modifikasyonları sonucunda; tüm algoritmaların hata dağılımının sıfır ekseninde sıkıştığı (compact distribution) ve aykırı değerlerin (outliers) minimize edilerek sistem stabilitesinin sağlandığı görülmüştür. Görsel 14'de simülasyon 1 ve Görsel 15'te simülasyon 2'ye ait analiz sonuçlarından saatlik göreceli hata dağılımında elde edilen çıktılar aşağıda gösterilmektedir.



(Görsel 14) (Görsel 15)

Görsel 14-15. Algoritmaların saatlik göreceli hata dağılımı ile ideal güç (Ptrue) karşılaştırması

Similasyon adımları ve MPPT performans kriterleri karşılaştırması Çizelge 4 de verilmiştir.

Çizelge 4. Simulasyon Adımları ve MPPT Performans Kriterleri Karşılaştırması

Simulasyon Adımı	Algoritma	Yıllık Enerji	Verimlilik	Doğruluk	Salınım	Hata Dağılımı
Simulasyon -1	P&O	81.991.7	**%65.62**	0.806	Yüksek/ Kararsız	Geniş negatifhata dağılımı (-0.3)

	INC	123.541.6	%98.87	1	Düşük /Stabil	≈ 0
	Adaptif PSO	124.955.6	100%	1	Yok/ İhmal Edilebilir	0
	HİBRİT (P&O + PSO)	112.066.4	**%89.68**	0.992	Fazla/ Çok Düşük	≈ 0
	P_True (Teorik İdeal güç)	124.955.7	100%			
Simulasyon-2	P&O	81.485.8	**%65.21**	0.806	Yüksek/ Kararsız	Geniş negatifhata dağılımı (-0.3)
	INC	123.894.6	%99.15	1	Düşük /Stabil	≈ 0
	Adaptif PSO	124.955.6	100%	1	Yok/ İhmal Edilebilir	0
	HİBRİT (INC + PSO)	124.637.3	**%99.75**	1	Düşük /Stabil	0
	P_True (Teorik İdeal güç)	124.955.7	100%			
Simulasyon-3	P&O	123.758.2	**%99.04**	1	Düşük /Kararlı	≈ 0
	INC	123.894.6	%99.15	1	Düşük /Stabil	≈ 0
	Adaptif PSO	124955.6	100%	1	Yok/ İhmal Edilebilir	0
	HİBRİT (INC + PSO)	124637.3	**%99.75**	1	Düşük /Stabil	0
	P_True (Teorik İdeal güç)	124.955.7	100%	1		
Simülasyon-4	P&O	123.758.2	%99.04	1	Düşük /Kararlı	≈ 0
	Adaptif INC	123.909.1	%99.16	1	Düşük /Stabil	≈ 0
	Adaptif PSO	124955.6	100%	1	Yok/ İhmal Edilebilir	0
	HİBRİT (INC + PSO)	124641.6	%99.75	1	Düşük /Stabil	0
	P_True (Teorik İdeal güç)	124955.7	%100			

4. BULGULAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, Python simülasyonundan elde edilen yıllık enerji,verimlilik ve örnek zaman serileri kullanılarak, dört farklı simülasyon ile MPPT algoritmalarının performansları detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Simülasyon sürecinde, algoritmaların sadece mevcut durumları değil, parametrik hassasiyetleri ve hibritleşme potansiyelleri de kademeli senaryolarla analiz edilmiştir. Kullanılan yöntemlerin çalışma prensipleri ve senaryo bazlı parametre optimizasyonları ve simülasyon sonuçlarından elde edilen bulgular yer almaktadır.

BULGULAR

P&O ve Parametrik Optimizasyon Kısıtı: Referans senaryoda (Simülasyon-1) standart P&O algoritması, ani ışınım değişimlerinde yaşadığı yön tayini hatası (drift) nedeniyle %65,62 gibi

düşük bir verimlilik sergilemiştir. Simülasyon-2'de adım aralığının küçültülmesi (2V → 1V), algoritmanın gürültü hassasiyetini artırarak verimliliği %65,21'e düşürmüş; bu durum dinamik koşullarda tek başına parametre optimizasyonunun yetersiz kaldığını kanıtlamıştır.
Yön Hafızası Modifikasyonunun Etkisi: P&O algoritmasına entegre edilen "Yön Hafızası" modülü (Simülasyon-3), sürüklenme problemini tamamen gidermiştir. Bu yapısal iyileştirme, algoritma verimliliğini %51 oranında artırarak %99,04 seviyesine yükseltmiş ve ideal güç eğrisiyle tam korelasyon sağlamıştır. Bu sonuç, yapısal modifikasyonun, parameter optimizasyonundan daha üstün olduğunu kanıtlamaktadır.

Değişken Adımlı INC ve Stabilite: Güç-gerilim eğrisinin türevine (dP/dV) dayalı Artımsal İletkenlik (INC) algoritmasına uygulanan "Dinamik Adım" mantığı, çalışma noktası MPP'ye yaklaştıkça adım aralığını minimize ederken yeni çalışma noktasına ulaşma hızını maksimize etmiştir. Bu mekanizma, kararlı hal salınımlarını (steady-state oscillation) sönümleyerek sistem stabilitesini güçlendirmiş ve toplam verimliliğe kümülatif katkı sunmuştur.

Hibrit Mimarilerin Performansı: P&O tabanlı hibrit yapı (P&O+PSO), yerel bileşenin kararsızlığı nedeniyle %89,68 verimlilikte kalmıştır. Buna karşın, yerel bileşen olarak INC algoritmasının kullanıldığı optimize edilmiş hibrit yapı (INC+PSO), %99,75 verim ile en yüksek performansı ve en düşük hata dağılımını sergilemiştir.

PSO ve Hesaplama Maliyeti Dengesi: Değişken atalet ağırlıklı (ωmax→ωmin) Adaptif PSO algoritması, ideal güce en yakın (%100'e yakınsayarak) sonuçları üretmiştir. Ancak yüksek hesaplama yükü ve karmaşıklığı nedeniyle, pratik uygulamalarda hibrit yapılarla desteklenmesinin daha uygulanabilir olduğu değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, geleneksel MPPT algoritmaları için parametre seçimi ve yapısal modifikasyonun birlikte kritik önemini ispatlamaktadır.

ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen simülasyon bulguları, özellikle "Yön Hafızalı P&O" algoritmasının ve hibrit yapıların başarısını ortaya koymuştur. Ancak literatüre daha derinlemesine katkı sağlamak ve bu yöntemlerin endüstriyel uygulanabilirliğini artırmak adına, ilerleyen çalışmalarda, "Yön Hafızalı P&O" algoritmasının; sensör gürültüleri, analog-dijital çevirici (ADC) hataları ve anahtarlama kayıplarının bulunduğu gerçek bir Deneysel Düzenek (DSP veya FPGA tabanlı) üzerinde test edilmesi gerekmektedir. Simülasyonda elde edilen %99.04'lük verimin, donanım üzerindeki gerçek zamanlı (real-time) performansı doğrulanmalıdır.

REFERANSLAR

[1] Bakım, S., *Yeni bir P&O tabanlı MPPT algoritması tasarımı ve performansının testi* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2016.

[2] Hussein, K. H., Muta, I., Hoshino, T., & Osakada, M. (1995). Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions. *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, 142(1), 59–64.

[3] Javed, M. R., Ahmad, S., Waleed, A., & Daniel, K. (2019). A Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Techniques for Solar Systems. *2019 IEEE International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering (RAEE)* (pp. 1-6). Islamabad, Pakistan: IEEE.

[4] Paliyal, P. S., Kumar, A., Mondal, S., Menon, S. K., & Pathela, M. (2024). Optimization of Solar Photovoltaic Array In-Depth Analysis of Perturb and Observe MPPT Algorithm. *2024 International Conference on Advances in Computing, Communication and Materials (ICACCM)* (pp. 1-6). Dehradun, India: IEEE.

[5] Bhattacharjee, R., Deb, A., & Adhikary, N. (2023). A comparative performance analysis of P&O and ANN algorithm based MPPT Energy Harvesting in PV systems. *2023 7th International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)* (pp. 1-6). Bangalore, India: IEEE.

[6] Asoh, D. A., Noumsi, B. D., & Mbinkar, E. N. (2022). Maximum Power Point Tracking Using the Incremental Conductance Algorithm for PV Systems Operating in Rapidly Changing Environmental Conditions. *Smart Grid and Renewable Energy*, 13(4), 89–108.

[7] Ramírez Torres, J. A., et al. (2025). Development and Implementation of the MPPT Based on Incremental Conductance for Voltage and Frequency Control in Single-Stage DC-AC Converters. *Energies*, 18(1), 184.

[8] Salman, D., Elmi, Y. K., Isak, A. M., & Sheikh-Muse, A. (2025). Evaluation of MPPT Algorithms for Solar PV Systems with Machine Learning and Metaheuristic Techniques. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 12(1), 115–124.

[9] Singh, S., Manna, S., Mansoori, M. I. H., & Akella, A. K. (2020). Implementation of Perturb & Observe MPPT Technique using Boost converter in PV System. *2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)* (pp. 1-6). Keonjhar, India: IEEE.

[10] Borni, A., Zaghba, L., Bezza, B., Bouchakour, A., Bessous, N., & Abdelkrim, T. (2024). Design, Analysis and Implementation of Fixed and Variable Step Incremental MPPT Techniques of PV Power Conversion System. *2024 IEEE International Multi-Conference on Smart Systems & Green Process (IMC-SSGP)* (pp. 1-6). Djerba, Tunisia: IEEE.

[11] Asnil, A., Nazir, R., Krismadinata, K., & Nasir, M. (2025). Enhanced incremental conductance MPPT method for maximizing photovoltaic power generation. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 16(4), 2757–2767.

[12] Miyatake, M., Veerachary, M., Toriumi, F., Fujii, N., & Ko, H. (2011). Maximum Power Point Tracking of Multiple Photovoltaic Arrays: A PSO Approach. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 47(1), 367-380.

[13] Fahmi, M. A., & Sudiharto, I. (2020). Particle Swarm Optimization Implementation as MPPT on Hybrid Power System. *2020 International Electronics Symposium (IES)* (pp. 182-187). Surabaya, Indonesia: IEEE.

[14] Soufi, Y., Bechouat, M., & Kahla, S. (2018). Particle swarm optimization based maximum power point tracking algorithm for photovoltaic energy conversion system. *2018 15th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)* (pp. 1018-1022). Hammamet, Tunisia: IEEE.

[15] Idris, D. K. M., et al. (2024). Comparative Analysis of Classical and AI-Based MPPT Techniques in Stand-Alone PV Systems. *2024 IEEE International Conference And Exposition On Electric And Power Engineering (EPEi)*. Iasi, Romania: IEEE.

[16] Gavali, S., & Deshpande, A. (2017). Particle Swarm Based Optimization Algorithm for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic (PV) Systems. *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)* (pp. 2098-2102). Bangalore, India: IEEE.

[17] Gawande, M. K., et al. (2021). Modern approach for hybridization of PSO-INC MPPT methods for efficient solar power tracking. *2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)* (pp. 1-6). Bangalore, India: IEEE.

[18] Indumathi, R., & Lakshmanan, S. A. (2024). Comparative Analysis of Hybrid GA-PSO and GWO-PSO MPPT Algorithm for Photovoltaic Systems. *2024 IEEE 3rd International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES)*. Bhopal, India: IEEE.

[19] Jagtap, S. (2021). Implementation of Combined System between Perturb & Observe and Incremental Conductance Technique for MPPT in PV System. *2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)* (pp. 1-5). Bangalore, India: IEEE.

[20] Li, Q., Liu, F., & Li, S. (2025). Photovoltaic Maximum Power Tracking Based on Grey Wolf-Particle Swarm-DE Optimization. *2025 IEEE 3rd International Conference on Power Science and Technology (ICPST)*. Kunming, China: IEEE.

[21] Sujatha, M. S., et al. (2024). Implementation of Incremental Conductance, Particle Swarm Optimization and Fuzzy MPPT Strategy with Boost Converter in Photovoltaic Systems. *2024 10th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*. Chennai, India: IEEE.

[22] Endiz, M. S. (2024). Performance Analysis of P&O and PSO MPPT Algorithms for PV Systems Under Partial Shading. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 12(1), 84–99.

[23] Arslan, M. (2023). *Fotovoltaik Sistemlerde Optimum Eğim ve Yönlendirme Açılarının Belirlenmesi*. (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

[24] Endiz, M. S., Gökkuş, G., Coşgun, A. E., & Demir, H. (2025). A Review of Traditional and Advanced MPPT Approaches for PV Systems Under Uniformly Insolation and Partially Shaded Conditions. *Applied Sciences*, 15(3), 1031.

[25] Dinçer, F., & Cutay, Ö. (2025). Efficiency analysis of solar power plants: The impact of temperature, soiling, and panel aging on energy generation. *International Journal of Energy Studies*, 10(3), 807–826.

[26] Selçuk, T., & Alkan, A. (2014). Simulink Ortamında Pv Modul Simülasyonu Ve Pvsystem Araç Kutusunun Oluşturulması. *Eleco 2014 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*. Bursa, Türkiye.

[27] Pamuk, N. (2023). Performance Analysis of Different Optimization Algorithms for MPPT Control Techniques under Complex Partial Shading Conditions in PV Systems. *Energies*, 16(8), 3358.

[28] Akhil, K. H., Hrithik, T. H., Mishra, N., Lekshmi, S., Rashmi, M. R., & Lee, H. P. (2024). Comparison of Performance of MPPT Algorithms for Solar Powered Battery Charging Applications. *2024 3rd International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)* (pp. 1-5). Goa, India: IEEE.

[29] Sharma, V., Gupta, A. K., & Verma, S. K. (2024). AI-Driven MPPT: A Paradigm Shift in Solar PV Systems for Achieving maximum Efficiency. *2024 International Conference of Adisutjipto on Aerospace Electrical Engineering and Informatics (ICAAEEI)*. Yogyakarta, Indonesia: IEEE.

[30] Chtita, S., et al. (2022). A novel hybrid GWO-PSO-based maximum power point tracking for photovoltaic systems operating under partial shading conditions. *Scientific Reports*, 12, 10637.

[31] Timur, O., & Uzundağ, B. K. (2025). Design and Analysis of a Hybrid MPPT Method for PV Systems Under Partial Shading Conditions. *Applied Sciences*, 15(16), 7386.

[32] Azli, H., Titri, S., & Larbes, C. (2020). Modified Particle Swarm Optimization Based MPPT with Adaptive Inertia Weight. In *Smart Energy Empowerment in Smart and Resilient Cities: Proceedings of the 3rd International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems (IC-AIRES 2019)* (pp. 115-123). Taghit, Algeria: Springer.

[33] Dris, M., & Djilani, B. (2013). Comparative Study of Algorithms (MPPT) Applied to Photovoltaic Systems. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(4).

[34] Elsafi, A., et al. (2025). Comparative analysis of maximum power point tracking methods for power optimization in grid tied photovoltaic solar systems. *Discover Applied Sciences*, 7, 976.

[35] Güvenç, N., Karakan, A., & Oğuz, Y. (2025). MPPT Method Supported by Particle Swarm Optimization for Increasing Power Efficiency in Solar Energy Systems. *ISVOS Journal*, 9(1), 161–172.

[36] Liu, L., Che, Y., Bi, H., & Xue, S. (2019). Research on maximum power point contrast tracking of photovoltaic system based on improved particle swarm algorithm. *2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)* (pp. 1-5). Harbin, China: IEEE.

[37] Türkmenoğlu, V., & Güngör, F. (2014). MATLAB SIMULINK & GUI ile PV Hücre Simülasyonu. *Eleco 2014 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*. Bursa, Türkiye.

[38] Kaya, D. (2020). *Güneş Işınım Şiddetinin Akıllı Hibrit Yaklaşımlar ile Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

[40] Mallahi, A. E., & Mharzi, H. (2025). An Maximum Power Point Tracking Algorithm for Photovoltaic Power Systems Using the Particle Swarm Optimization Technique. *2025 5th International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*. Fez, Morocco: IEEE

ENGINEERING DIELECTRIC SURFACE AREA IN TRIBOELECTRIC NANOGENERATORS FOR HIGH EFFICIENCY

Assoc. Prof. Dr. Abdulkerim Karabiber[1], Assoc. Prof. Dr. Dursun Öztürk[2], Assoc. Prof. Dr. Muzaffer Aslan[3]

[1]Bingöl University, Department of Electrical Electronics Engineering, -0000-0003-0244-4425
[2]Bingöl University, Department of Electrical Electronics Engineering, -0000-0002-0335-8118
[3]Bingöl University, Department of Electrical Electronics Engineering, -0000-0002-2418-9472

ABSTRACT

The core strategy for enhancing the performance of Triboelectric Nanogenerators (TENGs) is to increase the surface area of the dielectrics, resulting in an increased contact area and enhanced charge accumulation. This study summarizes critical engineering approaches to optimize TENG output efficiency by improving dielectric surface area and properties. A key method involves incorporating two-dimensional nanofillers, particularly those with high aspect ratios, into the dielectric matrix, which effectively boosts the interfacial area. Another vital strategy is the creation of micro architecture dielectrics, which significantly increases the effective surface roughness, greatly improving the contact area and charge accumulation. At a chemical level, surface modification with self-assembled monolayers offers the potential to improve triboelectric charge differences and energy conversion efficiency by tuning the chemical properties. In terms of material engineering, creating porous structures or integrating high-permittivity nanoparticles into flexible films supports higher surface charge densities due to the increased surface area. Finally, surface treatment techniques, such as polishing or chemical vapor deposition, optimize contact mechanics and electric field distribution by refining the surface properties of the dielectrics. These integrated strategies focus on maximizing TENG performance through better charge accumulation and more effective energy conversion.

Keywords: Triboelectric nanogenerator, surface area, nanofillers, microstructures, surface charge density

KATI YAKITLARDA YANMA HIZININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Doc.Dr.Hayri YAMAN

Kırıkkale Üniveristesi/Fen Bilimleri Entitüsü ,

hayriyaman@kku.edu.tr – 0000-0002-9663-7027

Mete Han İLMEÇ

Üniversite/Kurum Adı,

metehanilmec@gmail.com - 0009-0007-1425-9450

ÖZET

Bu çalışmada, çift bazlı (DB) katı roket yakıtlarında sıcaklık, basınç ve yaşlanma koşullarının yanma hızı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Katı roket motorlarında performansı belirleyen temel parametrelerden biri olan yanma hızı; yakıt bileşimi, tanecik yapısı, başlangıç sıcaklığı, yanma odası basıncı ve yakıt yaşlanması gibi birçok değişkenden etkilenmektedir.

Deneyler 69 bar ve 103 bar sabit basınç altında, -32 °C, 21 °C ve 50 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiş; her test koşulu için altışar tekrar uygulanmıştır. Testler, oksitleyici içeren kompozit nitelikli yakıtların ortamdan izole edilmesi amacıyla kontrollü sıcaklıkta şartlandırılmış sıvı ortam içerisinde yürütülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, sabit basınç altında sıcaklığın artmasıyla yanma hızının belirgin şekilde yükseldiğini, aynı şekilde sabit sıcaklık altında basıncın artmasının yanma hızını artırdığını göstermektedir. Ancak, sıcaklık değişiminin basınca duyarlılığı veya basınç değişiminin sıcaklığa duyarlılığı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, doğal ve yapay yaşlanmanın yanma hızı üzerinde anlamlı bir değişim oluşturmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma, çift bazlı roket yakıtlarının termal–basınç koşullarına verdiği tepkilerin anlaşılmasına katkı sağlamanın yanı sıra, roket motor tasarımı ve balistik performans tahminlerinde kullanılabilecek referans veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yanma hızı, katı roket yakıtı, yanma hızı ölçüm, roket performansı, erozif yanma

ABSTRACT

In this study, the effects of temperature, pressure, and aging conditions on the burning rate of double-base (DB) solid rocket propellants were experimentally investigated. Burning rate is one of the key parameters determining the performance of solid rocket motors and is influenced by several factors, including propellant composition, particle structure, initial temperature, chamber pressure, and aging. Experiments were conducted at constant pressures of 69 bar and 103 bar, and at temperatures of −32 °C, 21 °C, and 50 °C, with six repetitions for each test condition. Tests were carried out in a temperature-conditioned liquid medium to isolate the oxidizer-containing samples from atmospheric oxygen and ensure consistent combustion conditions.

The results show that an increase in temperature under constant pressure significantly increases the burning rate, and similarly, an increase in pressure under constant temperature also increases the burning rate. However, the sensitivity of the burning rate to pressure was not significantly affected by temperature variations, nor was its sensitivity to temperature significantly influenced by pressure differences. In addition, no meaningful difference in the burning rate was observed between naturally aged and artificially aged samples.

This study provides valuable insights into the thermal and pressure-related behavior of double-base propellants and offers reference data for solid rocket motor design and ballistic performance prediction.

Keywords- Burning rate, solid propellant, burning rate measurement, rocket performance, erosive combustion

1. GİRİŞ

Katı yakıtlı roket motorları, sahip oldukları yüksek özgül itki, uzun raf ömrü ve düşük bakım gereksinimleri nedeniyle günümüzde özellikle askeri platformlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Havadan-havaya, havadan-karaya ve karadan-havaya füze sistemleri başta olmak üzere çeşitli balistik füze uygulamalarında tercih edilmelerinin temel nedeni, bu motorların yüksek enerji yoğunluğu ile operasyonel güvenilirliği bir arada sunmalarıdır. Ek olarak, katı yakıtların depolama ve taşınma süreçlerinde sağladığı emniyet avantajı, çok uzun süre performans kaybı olmadan muhafaza edilebilmeleriyle birleştiğinde, bu sistemleri stratejik kullanım açısından son derece uygun hâle getirmektedir.

Katı roket yakıtları, enerjik oksitleyici ve yakıt bileşenlerinin belirli oranlarda karıştırılarak uygun reolojik özelliklere sahip bir hamur elde edilmesi ve bu karışımın önceden tasarlanmış yanma geometrisine sahip kalıplara dökülerek kürlenmesiyle üretilmektedir. Yakıt bileşenlerinin kimyasal enerjisi yüksek olsa dahi, motor içinde kararlı bir performans elde edilebilmesi için yanma hızının belirli bir aralığın üzerinde olması önemlidir. Yanma hızı; oksitleyici ve yakıt partiküllerinin tane boyutu dağılımı, bileşen oranları, bağlayıcı matrisin kimyasal yapısı, çalışma basıncı ve ortam sıcaklığı gibi çok sayıda parametreye duyarlıdır. Bu nedenle modern kompozit yakıt tasarımlarında, formülasyon optimizasyonu ve partikül

mühendisliği yöntemleri kullanılarak yanma davranışının kontrol edilmesi hedeflenmektedir. Bu yaklaşımlar sayesinde hem iç balistik performans iyileştirilmekte hem de farklı görev profillerine uygun özgün yakıt özellikleri geliştirilebilmektedir. [1].

Katı yakıtlarda yanma hızı, yakıtın iç yanma yüzeyinden geriye doğru ilerleyen regresyonun zamana bağlı değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu parametre, motor performansının belirlenmesinde kritik bir role sahiptir ve çeşitli fiziksel ile kimyasal değişkenlere duyarlıdır. Yanma odası basıncı, yakıtın ateşleme öncesindeki başlangıç sıcaklığı, formülasyonda kullanılan yüksek enerjili bileşenlerin oranı, oksitleyici miktarı, yanıcı maddelerin kimyasal duyarlılığı ve yanma hızını kontrol etmek amacıyla eklenen katkı maddeleri bu faktörlerin başlıcalarıdır. Bu değişkenlerin her biri, katı yakıtın termal bozunma mekanizmasını ve gaz fazında gerçekleşen reaksiyonların kinetiğini etkileyerek yanma hızının artmasına veya azalmasına neden olabilmektedir.

Katı yakıtlı roket motorlarında yanma süreci oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir; aynı anda hem katı fazda hem de gaz fazında termokimyasal reaksiyonlar gerçekleşmekte ve bu süreçler birbirleriyle güçlü biçimde etkileşim göstermektedir. Bu nedenle, ideal bir katı roket yakıtının hem düşük yoğunluklu olması hem de birim kütle başına yüksek ısıl enerji sağlayabilmesi beklenir. Yüksek enerjili, dumansız ve kontrollü biçimde yüksek yanma hızına sahip bir yakıt, motor verimini artırmakta ve daha kararlı bir itki profili oluşturmaktadır. Bu özellikler, katı yakıt tasarımında hem güvenilirlik hem de performans açısından önemli avantajlar sağlamaktadır [2].

1.1 Katı Roket Yakıtı

Daha önce belirtildiği üzere katı roket yakıtları, yüksek güvenlik düzeyleri, uzun depolama ömürleri, yapısal basitlikleri ve operasyonel emniyetleri nedeniyle birçok uygulamada sıvı yakıtlara kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle roket ve füze sistemlerinde yaygın olarak tercih edilen katı yakıtlar, genel olarak homojen ve heterojen yapılı iticiler olmak üzere iki temel sınıfta incelenmektedir [3]

Homojen yakıtlar, literatürde çift bazlı (double-base, DB) iticiler olarak adlandırılmakta olup, temel olarak nitroselüloz (NC) ve nitrogliserin (NG) bileşenlerinden oluşur. Bu sistemlerde yanma kararlılığını artırmak, termal davranışı iyileştirmek veya üretilebilirliği geliştirmek amacıyla stabilizatörler, plastikleştiriciler, soğutucular, yağlayıcılar ve yanma hızı düzenleyicileri gibi çeşitli katkılar düşük oranlarda formülasyona dahil edilebilmektedir. Üretim sürecinde bu iticiler genellikle ekstrüzyon veya döküm teknikleriyle belirli geometrilere şekillendirilmektedir. Homojen iticiler; tek bazlı, çift bazlı ve üç bazlı sistemler olmak üzere üç alt kategori altında sınıflandırılmaktadır [3].

Heterojen yapılı yakıtlar ise Kompozit Modifiye Edilmiş Çift Bazlı (CMDB) yakıtlar ile kompozit katı yakıtlar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu sınıftaki yakıtlar, oksitleyici partiküllerin polimerik bir bağlayıcı içerisinde dağıtıldığı heterojen bir mikro yapıya sahiptir ve mekanik, termal ve balistik özelliklerin geniş bir aralıkta mühendislik açısından optimize edilebilmesine olanak tanımaktadır [4].

1.2 Katı Roket Yakıtlarında Yanma Hızına Etki Eden Faktörler

Katı yakıtlı roket motorlarında yanma hızını etkileyen en büyük etkenlerden biri roket motorunun iç basıncıdır. Bu nedenle yakıt motorunun iç basınçlarının bulunabilmesi için kullanılan yakıt geometrisinin çok iyi incelenmesi ve her detayının bilinmesi gerekir. Roket motorlarının iç basıncı yakıt çekirdeğinin yanma alanına bağlı olduğu için yakıt geometrisi doğru analiz edilmelidir. Katı yakıtlı roketlerde yakıt zamana bağlı şekil değiştirmektedir. Bu yüzden roket motor iç basınç belirlenmesi için yanma olayının her anını takip edilmelidir. Her bir yanma alanının bulmak için yapılan çalışmalara "yanma gerilemesi incelemesi" denir [5].

Katı yakıtlı roket motorlarında yanma hızı, yanma yüzeyinin zamanla içe doğru ilerlemesi şeklinde tanımlanmaktadır. Katı yakıtlarda yanma hızı birim zamanda gerçekleşen yanma derinliği olarak ifade edilir. Bu büyüklük için yaygın olarak mm/s, cm/s veya inç/s gibi birimler kullanılmaktadır. Katı roket iticilerinde yanma hızının ve bu hızı etkileyen parametrelerin matematiksel tanımları aşağıda sunulmaktadır.

$$Doğrusal\ Yanma\ Hızı = \frac{Yakıt\ Kalınlığı(milimetre)}{Yanma\ Süresi(saniye)} \tag{1.1}$$

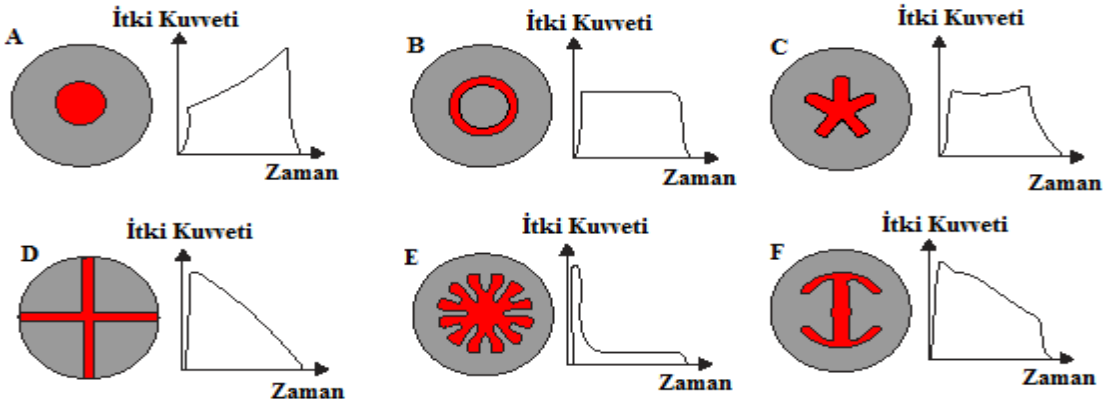
$$r = \frac{dw}{dt} \tag{1.2}$$

Vielle's Yasası olarak bilinen katı yakıt yanma hızı eşitliğinden;

$$r = \mathrm{a}P_c^n \tag{1.3}$$

Katı yakıtlı roket motorlarında yanma hızı (r), temel olarak yakıtın başlangıç sıcaklığı ve yanma odası basıncına bağlıdır. Bu bağlamda P_c yanma odası basıncını, a ise katı yakıtın başlangıç sıcaklığına ilişkin sabiti ifade etmekte olup, bu sabitin değeri 0.002–0.05 aralığında değişmektedir. Basınç indeksi veya basınç üssü olarak adlandırılan n ise katı yakıt formülasyonunun bir fonksiyonudur. Özellikle çift bazlı (DB) yakıtlarda n değeri genellikle 0.2–0.8 aralığında bulunurken, amonyum perklorat (AP) esaslı kompozit yakıtlarda bu değer daha düşük olup 0.1–0.4 arasında değişmektedir. Bu parametreler, yanma hızının hassas bir şekilde tahmin edilmesi ve roket motorlarının performans analizinde kritik öneme sahiptir[1].

Katı yakıtlı roket motorlarında roketin uçuşu esnasında yanma yüzeyi sabit kaldığı sürece yakıtın yanma hızı sabit kalacağından dolayı daha istikrarlı bir uçuş mümkün olur. Yakıt çekirdeği yıldız formunda üretilen katı yakıtlarda yanma boyunca yanma yüzey alanı %±15 sabit kaldığı görülmektedir [5].



Görsel 1.1 Yakıt çekirdeği yanma yüzey geometrisine bağlı zamana göre basınç değişimi [5].

Yukarda Şekil 3.1'de yanma esnasında en istikrarlı basınç değişimi B: (Çubuk ve Tüplü) ve C: (Yıldız) geometrili yakıtlar oluşturmaktadır. Diğerleri A: (Tubular) ilerleyen, D: (Cruciform (Haçımsı)), E: (Çok Kanatlı) ve F: (Çift Çapa) tipi yakıt geometrileri ise gerileyen yönde çalışma eğilimi göstermektedirler [1].

Katı roket yakıtlarında yanma hızı, aynı zamanda yakıt içeriğinin bir fonksiyonudur. Yakıt karışımlarının içerik yapısı yanma hızını doğrudan etkileyebilmektedir. Yanma hızını değiştirebilen etmenler;

- Mevcut kullanılan katalizör maddelerin veya yeni yanma hızı artırıcı ilavelerin eklenmesi
- Oksitleyici tane büyüklüğünün küçültülmesi
- Oksitleyici madde yüzdesinin arttırılması
- Yanma hızını arttıran bağlayıcı veya oksitleyici madde miktarının arttırılması
- Yakıt içerisine metal çubuk veya metal liflerin eklenmesi

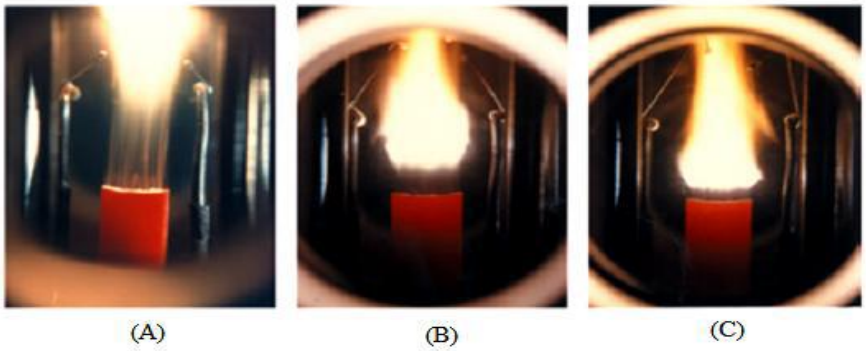
Katı yakıt kimyasal yapısı dışında motor imalat ve şartlarının yanma hızına etkileri;

- Yanma odası basıncı
- Yanma öncesi yakıt ilk sıcaklığı
- Yanan gaz sıcaklığı
- Yanma yüzeyine paralel akan gaz hızı
- Motorun hareketi (ivmelenmesi ve çekirdek içerisinde türbülans gerilmesi).

Katı roket yakıt yanma hızı birçok faktörlere bağlı olarak farklı davranış göstermektedir [6].

1.3 Basıncın Yanma Hızına Etkisi

Katı roket motorlarında yanma odası basıncındaki değişim, yakıtın yanma hızını doğrudan etkileyen temel parametrelerden biridir. Basınç arttıkça taneli yakıt yüzeyinde gerçekleşen regresyon hızı ve buna bağlı olarak alev yapısı da değişiklik göstermektedir. Nitekim Şekil 3.2'de de görüldüğü üzere, yanma odası basıncının artması alev profilinin geometrisi ve yoğunluğunda belirgin farklılıklara yol açmaktadır [2].



Görsel 1.2 Çift bazlı (NG-NC) katı roket yakıtının değişik basınç altında alev davranışı ve yanma hızı incelenmesi [2].

Katı roket yakıtlarının yanma karakteristiği, uygulanan yanma odası basıncına oldukça duyarlıdır. Farklı basınç koşullarında hem yanma hızı hem de alev yapısı önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Genel olarak, yanma odası basıncının artması yakıtın yüzey regresyon hızını yükseltmekte ve buna paralel olarak toplam yanma hızını da artırmaktadır

Çizelge 3.1'de üç farklı deney sonucuna göre, basınç artışına bağıntılı yanma hızının arttığı görülmektedir.

Deneyler	Basınç(MPa)	Yanma Hızı (mm/s)
A	1	2.2
B	2	3.1
C	3	4

Yanma hızının (r) basınca (P) bağımlılığı, St. Robert yasası (veya Vieille yasası) ile ifade edilir [7]:

$$r = \mathrm{a}.P_n \qquad (1.4)$$

burada: r yanma hızıdır; n basınç üssüdür; P basınçtır; a yanma hızı sabitidir. a ve n değerleri, sabit basınçta itici gaz şeritleri kullanılarak belirli bir itici gaz formülü için deneysel olarak en az beş testle belirlenir. Yanma testi en az üç farklı basınçta gerçekleştirilmelidir[10].

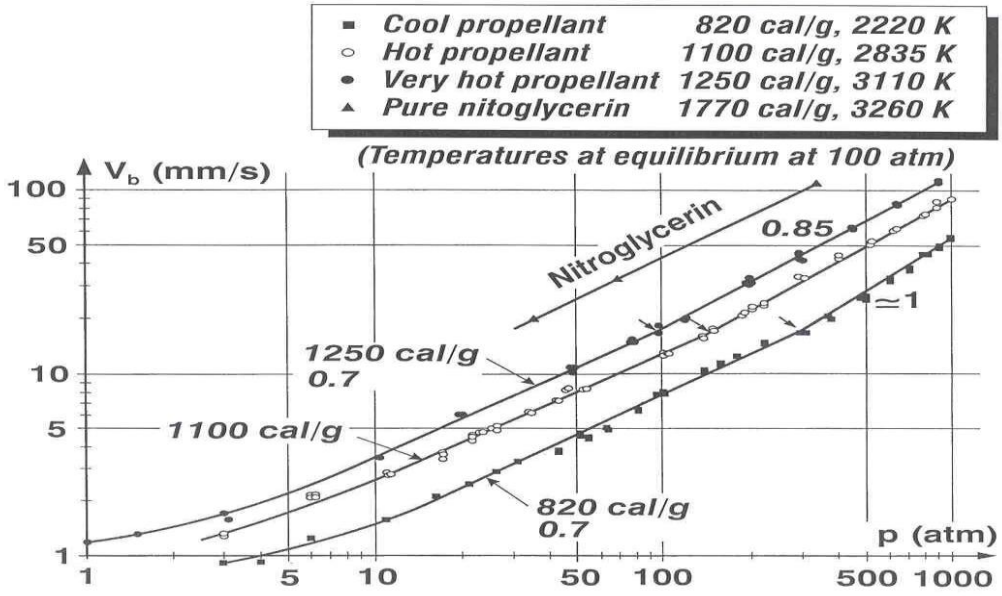
1.4 İlk Sıcaklığın Yanma Hızına Etkisi

Katı yakıtın başlangıç sıcaklığı, roket motorunun genel performansını doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Kompozit itici sistemlerde başlangıç sıcaklığındaki değişim, yanma odası basıncı üzerinde yaklaşık %25–35 aralığında, toplam yanma süresi üzerinde ise %20–30 düzeyinde farklılaşmalara neden olabilmektedir. Bu durum, yakıtın viskoelastik özelliklerinin ve kimyasal reaksiyon kinetiğinin sıcaklığa duyarlılığından kaynaklanmaktadır [4].

Katı yakıtlı roket motorlarında yanma hızı (r), yakıtın başlangıç sıcaklığı ve yanma odası basıncı (P_c) tarafından doğrudan etkilenmektedir. Yakıtın ilk sıcaklığına bağlı olarak tanımlanan yanma hızı sıcaklık duyarlılığı (π_r) dikkate alındığında, sabit basınç altında farklı başlangıç yakıt sıcaklık değerlerinde yanma hızındaki değişim aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir:

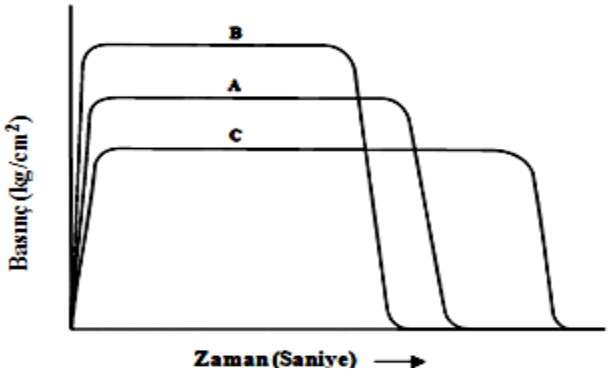
$$r = r_0.[1 + \pi_r.(T - T_0)] \quad (1.5)$$

Burada r_0, referans sıcaklıktaki yanma hızını, T mevcut yakıt sıcaklığını, T_0 ise referans sıcaklığı temsil etmektedir. Bu ifade, yakıt sıcaklığındaki değişimlerin yanma hızına olan etkisini nicel olarak belirlemek ve roket motorlarının performans analizinde kullanılmak üzere kritik bir parametre sağlamaktadır.



Görsel 1.3 Katı yakıt ilk sıcaklığının, farklı basınçlar altında yanma hızına etkisi [8]

Roket motorlarının sıcaklık değişimlerine olan duyarlılığı, itici yakıtın yanma hızının hem sıcaklığa hem de basınca bağlı değişim göstermesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.3'te de görüldüğü üzere, düşük basınç üs katsayısına sahip yanma bölgelerinin tercih edilmesi, motorun çevresel sıcaklık dalgalanmalarına karşı hassasiyetini azaltmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu nedenle, katkı maddesi içermeyen saf itici bileşenlerin yanma davranışının incelenmesi, katkı maddeleriyle modifiye edilmiş kompozit iticilerin performans karakteristiklerini anlamada temel bir başlangıç niteliğindedir [9].



Görsel 1.4 Yakıt çekirdek ilk sıcaklığının yanma süresi ve yanma oda basıncına etkisi [4]

Şekil 3.4'de üç farklı yakıt ilk sıcaklıklarında; (A: +27 , B: +50 , C: -40) yanma süreleri ve basınç değişimleri karşılaştırılmıştır. Yakıt başlangıç sıcaklığı arttıkça roket yanma odası basıncı yükselmekte ve yanma süresi kısalmaktadır[4].

1.5 Erozif Yanma

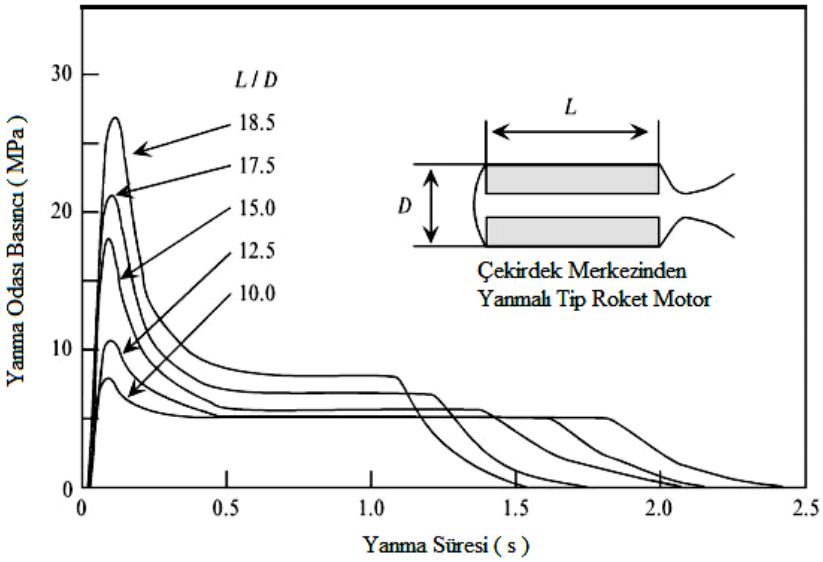
Yanma yüzeyine paralel doğrultuda gerçekleşen yüksek hızlı gaz akışları, taneli yakıt yüzeyini doğrudan etkileyerek yanma hızında artışa neden olur. Bu olgu literatürde erozif yanma olarak tanımlanmaktadır. Erozif yanma, özellikle akış yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde veya nozüle yakın dar kanallarda daha belirgin şekilde ortaya çıkar. Bu tür aşındırıcı etkinin temel göstergesi, yanma hızında gözlenen ek artış olup, erozif yanma etkisi çoğunlukla (Ɛ) katsayısı ile temsil edilmektedir [8].

$$\text{Ɛ} = \frac{ro}{r} \tag{1.6}$$

Denklem erozyonsuz yanma hızını erozyonlu yanma hızına oranını göstermektedir.

Katı yakıtlı roket motorlarında itici tanesinin boyu ve çapı, motorun performansını doğrudan belirleyen kritik geometrik parametrelerdir. Bu nedenle yakıt tanesinin uzunluk ve çap değerleri rastgele seçilemez; optimum itki üretimi ve stabil yanma koşulları için uygun boy–çap oranının belirlenmesi gereklidir. Çünkü erozif yanma olgusu, taneli yakıtın geometrisiyle özellikle de uzunluk/çap oranıyla yakından ilişkilidir. Yanma yüzeyinin geriye doğru dik yönde ilerlemesi sırasında meydana gelen ısı transferi ve çekirdek akışındaki hız artışı, akışa paralel bölgelerde ek aşındırıcı etki yaratarak erozif yanmayı tetiklemektedir [10].

Katı yakıtla çalışan roketlerde, yakıt boy çap oranı (L/D) erozif yanma şartlarını etki ettiği gibi yanma oda basıncı ve yanma süresinde etkilemektedir [1].



Görsel 1.5 Katı yakıtla çalışan roketlerde yakıt çap ve boy oranı değişmesinin, yanma süresi ve roket iç basıncına etkilediği görülmektedir [1].

1.6 Katı Yakıtlarda Yanma Hızının Düzenlenmesi

Yakıt, oksitleyici ve inert/enerjik plastikleştiriciye ek olarak, mekanik veya balistik özelliklerini iyileştirmek amacıyla itici yakıt formülasyonlarına çeşitli katkı maddeleri de eklenir. Bu katkı maddelerinden biri, yanma hızının hazne basıncına olan yüksek bağımlılığını değiştiren yanma hızı (balistik) değiştirici olarak adlandırılır. Bu amaçla bir katkı maddesinin kullanımı, itici yakıt türüne, yani DB, kompozit veya kompozit modifiye çift bazlı (CMDB) yakıta bağlıdır. Tablolar 4.10-4.14, bu amaçla kullanılan çeşitli BRM'leri göstermektedir [6].

1.7 Çift Bazlı Katı Yakıtlarda Yanma Hızının Değiştirilmesi

Çeşitli kurşun bileşikleri, özellikle orta ve yüksek enerjili çift bazlı (double-base) katı roket iticilerinde önemli bir yanma hızı katalizörü olarak işlev görmektedir. Formülasyonda kullanılan türe ve derişime bağlı olarak bu bileşikler, iticinin yanma hızını artırmakta; ayrıca yanma hızının basınca ve başlangıç sıcaklığına duyarlılığını azaltarak balistik kararlılığı geliştirmektedir. Söz konusu kurşun bileşiklerinin en ayırt edici özelliklerinden biri, yüksek kimyasal kararlılıklarıdır. Bu kararlılık, hem üretim süreci sırasında hem de uzun dönem depolama koşullarında bileşimin değişmeden korunmasını sağlayarak itici yakıtın balistik tekrarlanabilirliğini ve güvenilirliğini artırmaktadır [11].

1.8 Kompozit Katı Yakıtlarda Yanma Hızının Değiştirilmesi

Kompozit iticilerin yanma hızını değiştirmede en yaygın ve etkili yöntemlerden biri, uygun katalizörlerin veya balistik düzenleyicilerin formülasyona eklenmesidir. Kompozit yakıtlarda kullanılan katı katalizörler genel olarak iki ana sınıfa ayrılır: (1) değişken değerlikli metal oksitleri ve metal tuzları—örneğin demir(III) oksit, bakır(II) oksit, bakır kromit ve bakır kromat gibi bileşikler; (2) ferrosen türevleri, demir(III) asetil asetonat ve metal şelatları gibi katı veya sıvı organometalik bileşikler. Bununla birlikte, yüksek enerjili kompozit iticiler büyük oranda katı faz bileşenlerinden oluştuğundan, formülasyona fazla miktarda katı katalizör eklenmesi karışımın reolojik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum, özellikle itici

karışım viskozitesinin artması, işlem ömrünün kısalması, uzama değerinin azalması ve elastik modülün yükselmesi gibi mekanik özelliklerde istenmeyen değişimlere yol açmaktadır [12].

2. Materyel ve Yöntemler

2.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Test için roket motorundan kompozit yakıt numunesinde iki farklı dilim alınıp birinci dilim doğal yaşlanmış numuneleri elde etmek için kullanılırken ikinci numune hızlı yaşlanmış numuneleri elde etmek için kullanıldı. Elde edilen dilimler daha sonra 5mm x 5mm x 100mm ölçülerinde dikdörtgen prizma formunda giyotin ile kesilerek doğal yaşlanmış 30 adet Hızlı Yaşlanmış 30 adet olmak üzere toplamda 60 adet numune elde edildi.. Test 69bar ve 103bar basınç altında ve -32 ºC, 21 ºC, 50 ºC sıcaklıklarda her bir ortam şartında altı tekrar olacak şekilde gerçekleştirildi. Yanma hızı testi kompozit yakıtların bünyesinde oksitleyici mevcut olması ve ortamdaki oksijenden izole etmek için test sıvısı içerisinde gerçekleştirildi. Test sıvısı, -32ºC sıcaklık için %50 kalsiyum klorür karışımlı saf su (donmayı engellemek için), diğer sıcaklıklar için saf sudan oluşmaktadır. Yanma haznesi içerisindeki test sıvısı, etrafındaki şartlandırma ceketi vasıtasıyla istenilen sıcaklığa şartlandırıldı. -32 ºC sıcaklığa şartlandırmak için şartlandırma ceketi içerisinde etil alkol dolaşım edildi (donmayı engellemek için) diğer sıcaklıklara şartlandırmak için şartlandırma ceketi içerisinde ultra saf su dolaşım edildi. Uygun sıcaklığa şartlandırılmış olan yanma sıvısı içerisine numuneler yerleştirildi.

2.2 Kullanılan Numenin Yaşlandırılması

Yapay yaşlandırma koşulları, Yeni katı kompozit roket yakıtı 60 ℃ de 125 gün yaşlandırılmış %0 bağıl nem ortamında 3 yıl yaşlandırılmıştır.

2.3 Kullanılan Numenin Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan polimer bazlı kompozit yakıt numunesi, elastomerik karaktere sahip bir polimer bağlayıcı matrisi içerisinde dağıtılmış oksitleyici ve yakıt katkı partiküllerinden oluşan heterojen bir yapıya sahiptir. Numunenin üretiminde kullanılan bağlayıcı faz, düşük sıcaklıklarda esneklik, yüksek sıcaklıklarda ise yapısal bütünlük sağlayacak şekilde optimize edilmiştir. Matris içerisinde homojen olarak dağılmış oksitleyici partiküller, yanma esnasında kararlı bir enerji salınımı oluştururken; metalik yakıt katkısı, numunenin özgül enerji çıktısını artırmıştır. Reolojik açıdan numune, cure süreci sonunda hedeflenen viskoelastik özellikleri sağlamış ve mekanik testlerde çatlama veya ayrışma belirtisi göstermemiştir.

Termal ve yanma karakterizasyonları incelendiğinde, numunenin sıcaklık değişimlerine duyarlılığının kontrollü olduğu ve özellikle düşük sıcaklık koşullarında bağlayıcının camsı geçiş bölgesine yaklaşmasına rağmen içyapıda kritik bir deformasyon oluşmadığı gözlenmiştir. Basınç bağımlı yanma hızı ölçümleri, numunenin içyapı bütünlüğünü koruduğunu ve basınç artışına karşı lineer olmayan ancak kararlı bir yanma eğilimi sergilediğini göstermiştir. Bu özellikler, kullanılan polimer bağlayıcının kimyasal etkileşimleri ile partikül dağılımının başarılı bir biçimde optimize edildiğini ve numunenin hem mekanik hem de termo-kimyasal açıdan roket motoru uygulamalarına uygun bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Aşağıda çizelge 5.1 de kullanılan numunenin kimyasal içeriği hakkında bilgi verilmiştir.

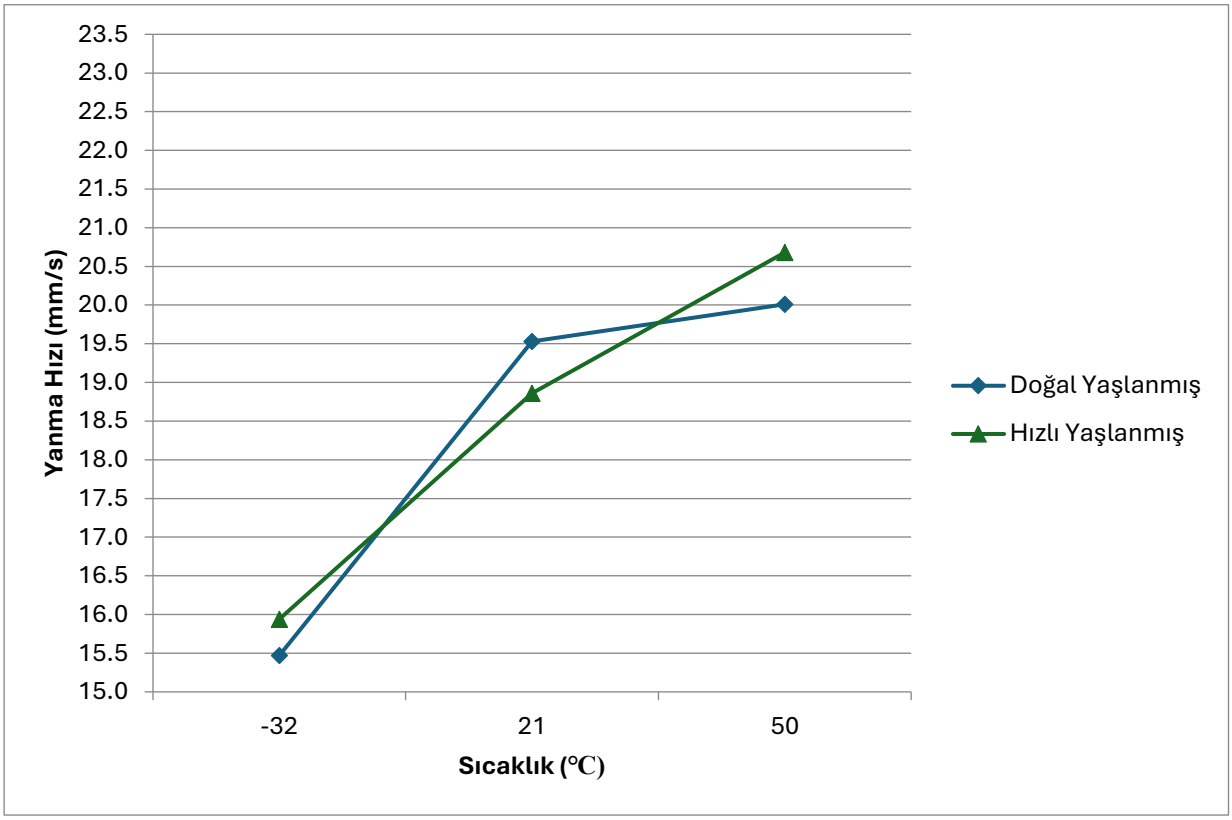
Çizelge 5.1 Polimer Bazlı Kompozit Yakıt Kimyasal Bileşenleri

İçerik	%(Kütlece)
Polimer	8-15
Antioksidan	0,01-0,5
Amonyum Perklorat	65-85
Yanma Hızı Ayarlayıcı	0,5-1,5
Alüminyum Tozu	3-5
Diğer Malzemeler	0,1-10

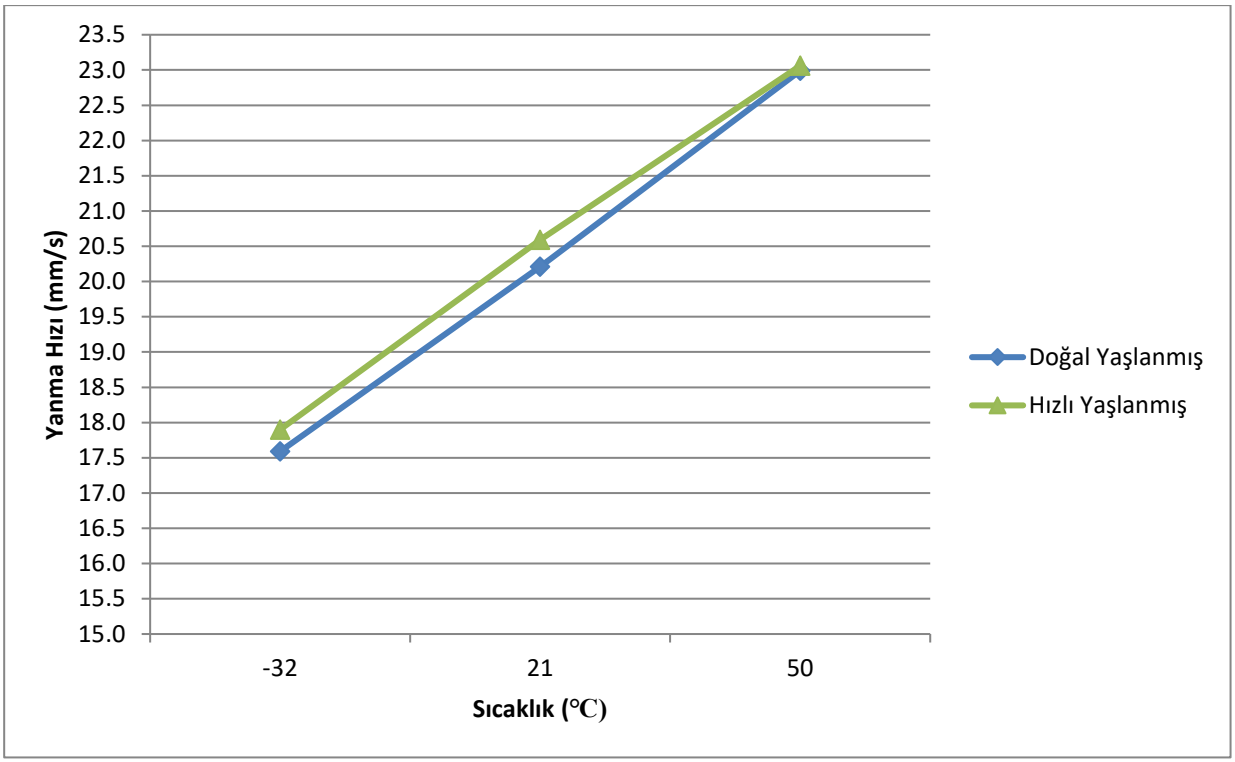
3. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

3.1 Sıcaklığın Yanma Hızına Etkileri

Deneyler, sabit 69 bar ve 103 bar basınç koşullarında; -32 °C, 21 °C ve 50 °C sıcaklık seviyelerinde, her bir sıcaklık için altı tekrar olacak şekilde yürütülmüştür. Elde edilen deneysel bulgular Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de sunulmaktadır.



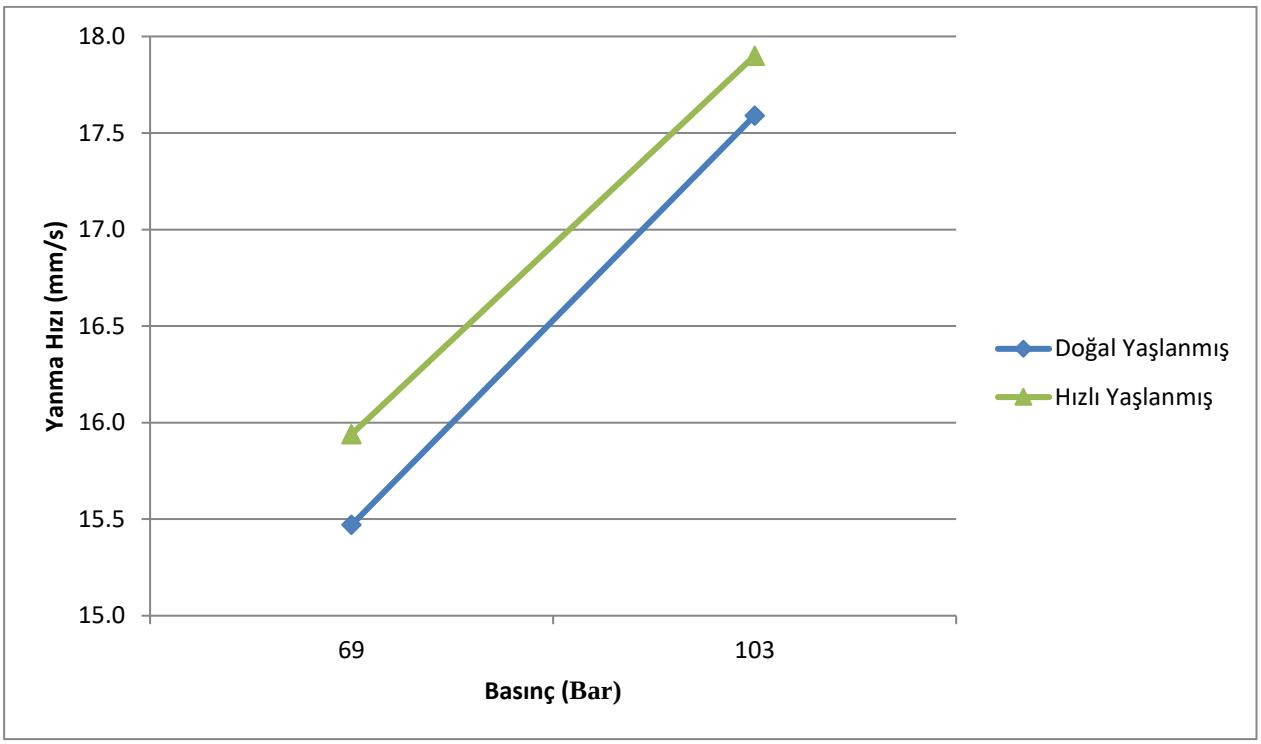
Görsel 3.1 69 Bar Sabit Basınç Altında Yanma Hızı Değişim Grafiği



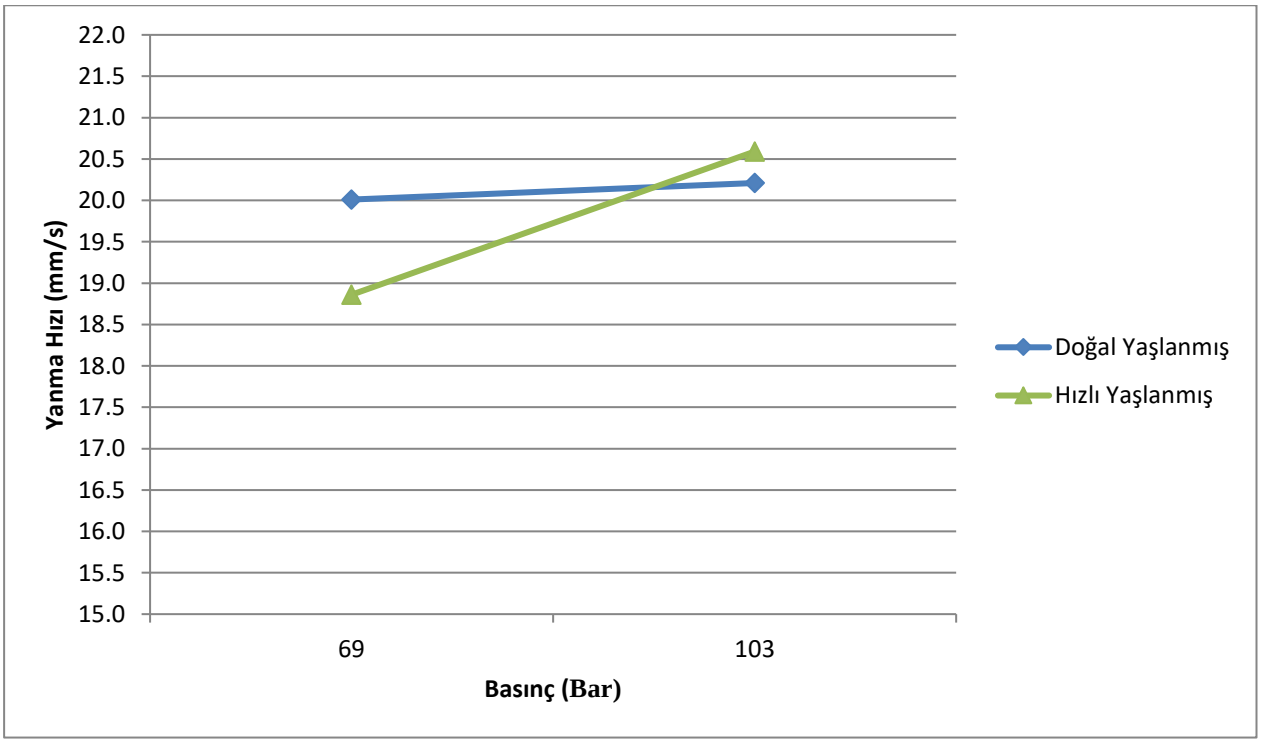
Görsel 3.2 103 Bar Sabit Basınç Altında Yanma Hızı Değişim Grafiği

6.2 Sıcaklığın Yanma Hızına Etkileri

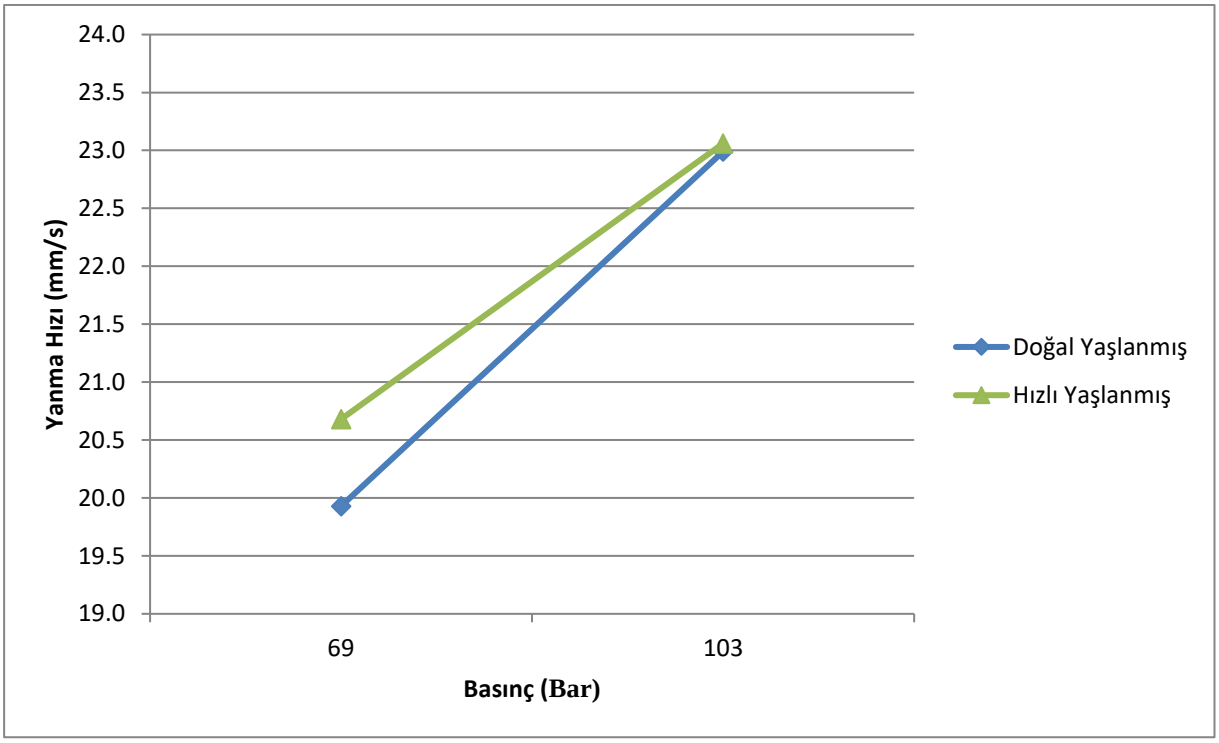
Deneyler, -32 °C, 21 °C ve 50 °C olmak üzere üç farklı sabit sıcaklıkta, 69 bar ve 103 bar basınç koşullarında, her bir sıcaklık düzeyi için altı tekrar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te sunulmaktadır.



Görsel 3.3 -32°C Sabit Sıcaklık Altında Yanma Hızı Değişim Grafiği



Görsel 3.4 21°C Sabit Sıcaklık Altında Yanma Hızı Değişim Grafiği



Görsel 3.5 50°C Sabit Sıcaklık Altında Yanma Hızı Değişim Grafiği

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, çift bazlı (DB) katı roket yakıtlarında sıcaklık, basınç ve yaşlanma koşullarının yanma hızı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, 69 bar ve 103 bar olmak üzere iki farklı basınçta ve −32 °C, 21 °C ve 50 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, katı roket yakıtının yanma davranışını belirleyen temel eğilimler aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

Sabit basınç altında, sıcaklığın artmasıyla yanma hızının belirgin biçimde yükseldiği görülmüştür. Buna karşın, iki farklı basınç seviyesi (69 ve 103 bar) karşılaştırıldığında, basınç farkının sıcaklık değişimine bağlı yanma hızı artış eğilimi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Sabit sıcaklık altında yapılan deneylerde ise basınç artışı, yanma hızını doğrusal bir şekilde artırmıştır. Ancak farklı sıcaklıklarda yapılan ölçümler, sıcaklık değişiminin basınçtaki bu artışa karşı yanma hızının duyarlılığını önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

Ayrıca, hem sabit basınç hem de sabit sıcaklık koşulları altında değerlendirilen doğal ve hızlı yaşlanmış numuneler karşılaştırıldığında, yaşlanmanın yanma hızı üzerinde kayda değer bir değişikliğe neden olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Genel olarak, bu çalışma; çift bazlı katı roket yakıtlarında yanma hızının sıcaklık ve basınca güçlü biçimde bağlı olduğunu, ancak yaşlanmanın incelenen süre ve koşullar altında yanma

davranışını önemli ölçüde değiştirmediğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, roket motoru tasarımında yanma hızı kestirimi ve balistik performans hesaplamaları için önemli referans veriler sunmaktadır.

Kaynakça

1. H. Yaman, Use of double-base high energy materials in solid propellant and investigation of their effects on the performance, Ph.D. dissertation, Kırıkkale Univ., Kırıkkale, Türkiye, 2013.
2. G. P. Sutton, Rocket Propulsion Elements, 7th ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2001.
3. G. P. Sutton and O. Biblarz, Rocket Propulsion Elements, 9th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2016.
4. N. Kubota, Propellants and Explosives: Thermochemical Aspects of Combustion, 3rd ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2002.
5. H. Yaman, “Katı roket yakıtlarında yanma hızına etki eden faktörlerin deneysel araştırılması,” in 12. Uluslararası Yanma Sempozyumu Bildirileri, Kocaeli, Türkiye, 2012.
6. J. P. Agrawal, High Energy Materials: Propellants, Explosives and Pyrotechnics. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2010.
7. B. Gossant, “Solid propellant combustion and internal ballistics of motors,” in Solid Rocket Propulsion Technology, A. Davenas, Ed. Oxford, UK: Pergamon Press, 1993, pp. 111–192.
8. G. Lengellé, J. Duterque, and J. F. Trubert, Combustion of Solid Propellants, (yayın bilgisi eksik).
9. H. M. Aksel, K. Coşkun, A. Toker, and T. Tınaztepe, Katı Yakıtlı Roket Motorlarında Üç Boyutlu Yakıt Gerilemesi ile Akışın Modellemesi, (tez/rapor, yayın bilgisi eksik). R.

Sabatini and F. Caramelli, Solid Rocket Propulsion Technology. Cham, Switzerland: Springer, 2014.

10. T. Urbanski, Chemistry and Technology of Explosives, vol. 3. Oxford, UK: Pergamon Press, 1984.

GIS APPLICATIONS IN SOLID WASTE COLLECTION AND TRANSFER

Hasan İhsan KALELİ

İzmir Katip Çelebi University,

hasanihsankaleli@gmail.com- 0000-0002-7221-9234

Doç. Dr. Sedat YALÇINKAYA

Marmara University,

sedat.yalcinkaya@marmara.edu.tr- 0000-0003-3062-2698

ABSTRACT

Solid waste management is one of the primary responsibility of local municipalities and accounts for a significant portion of their budget. This complex logistical process involves the systematic collection of waste from streets and its transportation to designated transfer stations or final disposal sites. Since these processes occur across a wide geographic area, spatial improvements within this cycle are crucial to operational sustainability. In this context, this field shares many fundamental similarities with supply chain management, where spatial efficiency and resource allocation are paramount. This study evaluates the diverse applications of Geographic Information Systems (GIS) within this domain, specifically examining how network analysis tools are utilized to solve spatial problems. The methodology focuses on network analysis solvers: the Vehicle Routing Problem (VRP), Location-Allocation (LA), and Service Area analysis. Within this framework, VRP is discussed for its role in modeling route structures under constraints such as vehicle capacity and time windows. LA models are examined for their ability to strategically determine the most suitable locations for waste containers and transfer centers, thereby minimizing travel impedance. Moreover, Service Area analysis is evaluated to measure the accessibility of these facilities and ensure adequate service coverage for the population. Consequently, this study investigates how these analyses are performed and for what specific planning purposes they are designed. Ultimately, the study provides a comprehensive assessment of how GIS technologies are integrated into municipal waste logistics.

Keywords: Solid Waste Management, Geographic Information Systems, Network Analysis, Waste Collection and Transfer.

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ ARACILIĞIYLA ULAŞIM MODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: KARABÜK İLİ ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Emine Berfin ŞAHİN
Yıldız Teknik Üniversitesi,
berfin.sahin1@std.yildiz.edu.tr- 0009-0008-8232-2164

Dr. Öğr. Üyesi Uğur ACAR
Yıldız Teknik Üniversitesi,
uacar@yildiz.edu.tr- 0000-0003-3676-4259

ÖZET

Bu çalışma, Karabük kentinde farklı ulaşım modlarına ait yolculuk örüntülerinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) aracılığıyla karşılaştırmalı olarak analiz edilmesini amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, hanehalkı yolculuk anketlerinden elde edilen veriler kullanılarak toplu taşıma, otomobil, yaya ve servis taşımacılığına ilişkin yolculuklar Trafik Analiz Bölgeleri (TAB) ölçeğinde değerlendirilmiştir. Yolculuk başlangıç ve varış noktaları CBS ortamında mekânsal olarak eşleştirilmiş; her bir ulaşım modu için OD (origin–destination) matrisleri oluşturulmuş ve zonlar arası etkileşimler akış haritaları aracılığıyla analiz edilmiştir.

Analiz sonuçları, Karabük kentinde ulaşım modlarının mekânsal davranışlarının belirgin biçimde farklılaştığını ortaya koymaktadır. Toplu taşıma ve yaya hareketliliği ağırlıklı olarak merkez ve alt merkez alanlarda yoğunlaşırken, otomobil kullanımı merkez–çeper ilişkileri ve Karabük–Safranbolu arasındaki bölgesel etkileşimler üzerinden daha geniş bir mekânsal yayılım sergilemektedir. Servis taşımacılığı ise konut alanlarından sanayi ve eğitim odaklarına yönelen, hedefi belirli ve mekânsal olarak yoğunlaşmış bir hareketlilik örüntüsü sunmaktadır. Bu bulgular, kentsel ulaşım talebinin yalnızca yolculuk hacimleriyle değil, kentsel işlevlerin mekânsal dağılımı ve erişim ölçekleriyle birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Çalışmada uygulanan CBS tabanlı analiz yaklaşımı, ulaşım modlarının mekânsal örüntülerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak tanımış; kentsel ulaşım sisteminin çok modlu yapısının mekânsal bağlamda okunmasını sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, Karabük kentinde ulaşım planlamasına yönelik kararların, modlar arası dengeyi gözeten ve mekânsal örüntülere dayalı bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler : Coğrafi Bilgi Sistemleri, Ulaşım Planlaması, Trafik Analiz Bölgeleri, Ulaşım Modları, Akış Haritaları

TOROİDAL VE KLASİK PERVANE İTKİ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Mehmet Alperen ANDAÇ
Erciyes Univ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak Müh. Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye.
mehmetalperenandac@gmail.com- ORCID ID: 0009-0008-8819-0887

Ayhan AKBULUT
Erciyes Üniv., Havacılık ve Uzay Bil. Fak., Uzay Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye.
ayhanakbulut@erciyes.edu.tr - ORCID ID: 0009-0002-4227-5106

Dr. İsmail ATA
Erciyes Üniv., Havacılık ve Uzay Bil. Fak., Uzay Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye.
ismailata@erciyes.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0412-8397

ÖZET

Bu çalışmada, son yıllarda hava tahrikli araçlarda alternatif bir itki çözümü olarak öne çıkan toroidal pervaneler (closed-loop) ile klasik kanatlı pervanelerin itki performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Karşılaştırmalar, üretilen itki kuvveti için aynı çap ve aynı hatveye sahip iki ve üç palli klasik pervaneler ile toroidal pervaneler arasında aynı devir sayıları için deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, beş farklı devir aralıklarında (2000-6000 rpm) her iki tip pervane için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve itki değerleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, aynı devir sayıları için toroidal pervanelerin klasik pervanelere göre ortalama %61 daha yüksek itki kuvveti ürettiğini göstermiştir. Sonuç olarak, çap ve hatvesi eşit klasik ve toroidal pervaneler arasında yapılan bu karşılaştırma, toroidal pervanelerin uygun geometrik tasarım ile klasik pervanelere kıyasla daha yüksek itki potansiyeli sunabildiğini ortaya çıkarmıştır.

Anahtar kelimeler: Toroidal pervane, itki testi, pervane geometrisi

COMPARİSON OF THRUST PERFORMANCE OF TOROİDAL AND CONVENTİONAL PROPELLERS

ABSTRACT

In this study, the thrust performances of toroidal (closed-loop) propellers, which have recently emerged as an alternative propulsion solution for air-driven vehicles, are comparatively investigated against those of conventional bladed propellers. The comparisons are experimentally conducted at identical rotational speeds between toroidal propellers and two- and three-bladed conventional propellers having the same diameter and pitch. The experiments are performed separately for each propeller type over five different rotational speed ranges between 2000 and 6000 rpm, and the corresponding thrust values are obtained. Analysis of the experimental results indicates that, at identical rotational speeds, the toroidal propellers generate, on average, 61% higher thrust compared to conventional propellers. Overall, this comparison between conventional and toroidal propellers with equal diameter and pitch demonstrates that toroidal propellers, when appropriately designed, can offer a significantly higher thrust potential than conventional propellers.

Keywords: Toroidal propeller, thrust test, propeller geometry

GİRİŞ

Pervane, hava tahrikli çalışan araçlarda itki üretiminin temel bileşeni olup, sistemin taşıma kapasitesi, enerji kullanımı ve görev performansı açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle pervane geometrisinin itki üretimi üzerindeki etkisi, havacılık alanında uzun süredir araştırılmaktadır [1]. Günümüzde yaygın olarak kullanılan klasik açık uçlu pervaneler, yaygın ve güvenilir bir tasarım sunmakla birlikte, pal uçlarında oluşan akış girdapları nedeniyle itki üretimini sınırlayan aerodinamik kayıplar içermektedir.

Bu sınırlamaları azaltmaya yönelik alternatif geometrilerden biri, son yıllarda kullanımı hızla artan toroidal (closed-loop) pervane tasarımıdır [2]. Kapalı halka formuna sahip bu pervaneler, pal uçlarını birleştirerek akışın daha kontrollü yönlendirilmesini, uç girdap etkilerini azaltmayı ve momentum aktarımının daha etkin gerçekleşmesini sağlamaktadır [3].

Toroidal pervaneler üzerine literatürde yapılan çalışmaların önemli bir kısmı farklı çap, hatve veya pal sayısına sahip pervanelerin karşılaştırılmasını içermektedir [4,5]. Bu yüzden, elde edilen performans değerlerinin doğrudan geometriden mi yoksa boyutsal değişkenlerden mi kaynaklandığının net biçimde ortaya konulması zordur. Bu nedenle, aynı çap ve hatveye sahip toroidal ve klasik pervanelerin aynı devir sayılarında karşılaştırılması, geometrik etkinin doğru biçimde değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, aynı çap ve hatve değerlerine sahip iki ve üç palli klasik ve toroidal pervaneler, 2000–6000 RPM devir aralığında deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Amaç, pervane geometrisinin itki üretimi üzerindeki etkisini doğrudan ortaya koymak ve toroidal pervanelerin klasik tasarımlara kıyasla sunduğu itki potansiyelini deneysel verilerle değerlendirmektir.

2. YÖNTEM

2.1. Deney Düzeneği

Kalasik pervaneler ile toroidal pervanelerin üretmiş oldukları itkilerin karşılaştırılması için özel olarak tasarlanmış bir deney sistemi kullanılmıştır. Pervanelerin ürettiği eksenel itki kuvveti, motor ekseniyle hizalanmış BC tipi tek nokta yük hücresi ve gösterge düzeneği kullanılarak ölçülmüştür. Her bir pervane için gerçekleştirilen ölçümlerde aynı devir değerlerinin elde edilebilmesi için Cem AT-8 temassız devir ölçer kullanılmıştır. Deney düzeneği Görsel 1'de verilmiştir.



Görsel 1. İtki test deney düzeneğini.

Motor tahriki için fırçasız DC motor ve elektronik hız kontrolcü (ESC) kullanılmıştır. Güç sistemi ve ölçüm mesafeleri tüm testler boyunca sabit tutulmuştur. Böylece ölçülen itki değerlerinin yalnızca pervane geometrisine bağlı olması sağlanmıştır.

2.2. Pervane Konfigürasyonları ve Geometrik Özellikleri

Çalışma kapsamında dört farklı pervane konfigürasyonu test edilmiştir. Bu konfigürasyonlar, klasik açık uçlu ve toroidal (closed-loop) geometrilerine sahip iki ve üç palli pervanelerdir. Klasik pervaneler, açık uçlu konvansiyonel tasarıma sahip referans modellerdir. Toroidal pervaneler ise pala uçlarının kapalı bir halka formu ile birleştirildiği geometrilerden oluşmaktadır. Bu kapsamda kullanılan klasik ve toroidal pervaneler Görsel 2'de görülmektedir.



Görsel 2. a) Klasik iki (2P) ve Bi-loop toroidal, **b)** Klasik üç palli (3P) ve Tri-loop toroidal pervane.

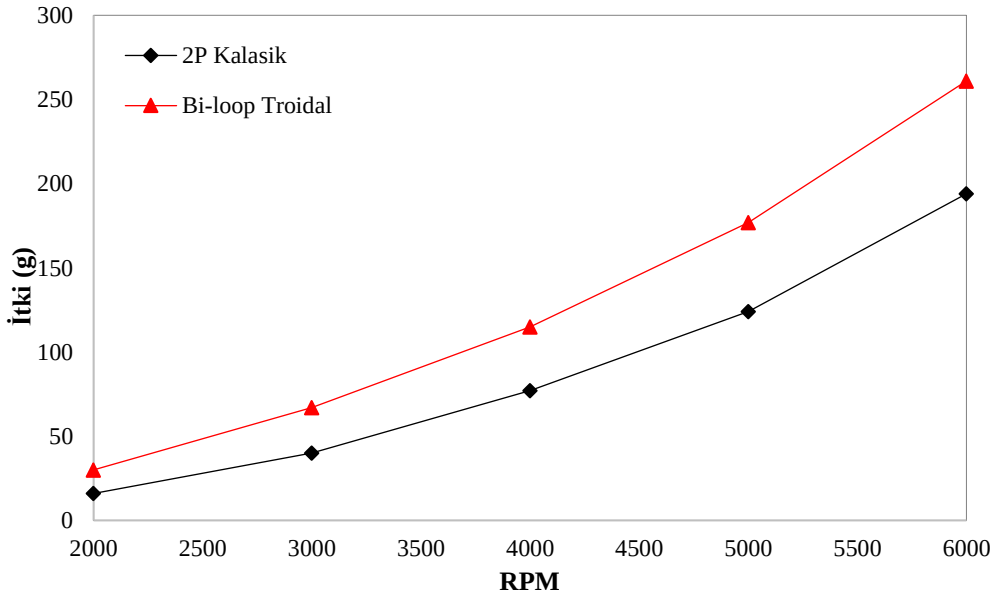
Klasik pervaneler fabrika üretimi [6] olarak temin edilmiş olup, toroidal pervaneler ise 3D baskı yöntemiyle laboratuvar şartlarında üretilmiştir. Tüm pervaneler test öncesinde balans ve mekanik stabilite açısından kontrol edilmiştir.

2.3. Test Prosedürü

İtki ölçümleri, 2000–6000 RPM aralığında beş farklı devir seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Motor devri, deney düzeneğinde kullanılan temassız dijital takometre ile ölçülmüş ve her test noktasında hedef RPM değerine ulaşıldığı doğrulanmıştır. Motor, belirlenen her RPM seviyesinde kısa süreli olarak sabit devirde çalıştırılmış; sistem kararlı hâle geldikten sonra itki değeri kaydedilmiştir. Her RPM seviyesi için ölçümler en az üç kez tekrarlanmış ve elde edilen itki değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Aynı test prosedürü, tüm pervane geometrileri ve pal sayıları için birebir uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

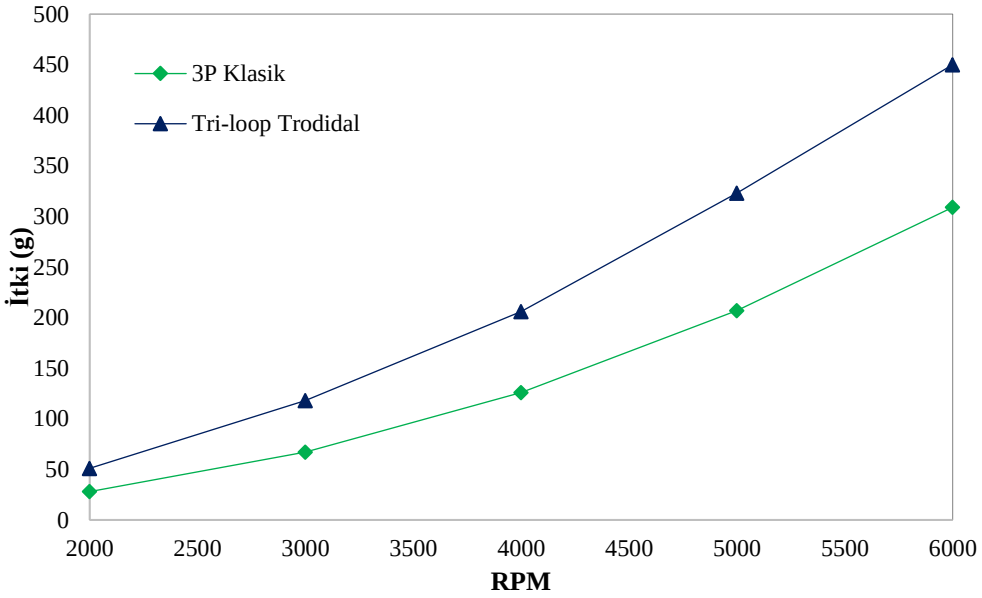
Aynı çap ve hatve değerlerine sahip klasik (2P) ve toroidal (Bi-loop) pervanelerin 2000–6000 RPM aralığında ürettikleri itki değerlerinin karşılaştırması Görsel 3'te verilmiştir. Görsel 3 incelendiğinde, 2P klasik pervane itki değerlerinin 16 g ile 194 g arasında değişirken Bi-loop toroidal pervane itki değerlerinin ise 30 g ile 261 g arasında değiştiği görülmektedir. Bi-loop toroidal pervanenin tüm devir değerlerinde klasik iki palli pervaneye kıyasla ortalama %56 daha itki ürettiği görülmektedir. Özellikle devir arttıkça itki farkının belirginleştiği ve toroidal geometrinin orta ve yüksek devir bölgelerinde daha avantajlı hâle geldiği görülmektedir.



Görsel 3. İki pallı klasik ve bi-loop toroidal pervanelerin ürettikleri itki değerleri.

Üç palli kalasik ve toroidal pervanelerin devir değerlerine göre itki kuvvetlerinin değişimi ise Şekil 4'te verilmiştir. 3P klasik pervane için itki değerleri 28 g ile 309 g arasında elde edilirken Tri-loop toroidal pervane için 51 g ile 450 g arasında itki değerleri elde edilmiştir. Makimum motor deveri olan 6000 RPM için karşılaştırma yapıldığında Tri-loop toroidal pervanenin itki değerinin 3P klasik pervaneye göre %46 daha yüksek itki ürettiği görülmektedir. Bütün RPM

değerleri için değerlendirme yapıldığında Tri-loop toroidal pervanenin 3P klasik pervaneye göre ortalama %65 daha yüksek itki değeleri elde edilmiştir.



Görsel 4. Üç pallı klasik ve tri-loop toroidal pervanelerin ürettikleri itki değerleri.

Çap ve hatve değerleri eşit olmasına rağmen, kapalı halka geometrisinin pala uçlarındaki girdap etkilerini azaltması ve kayba uğrayan enerjinin daha etkin bir momentum aktarımına dönüşmesini sağlaması, bu performans artışının temel nedeni olarak değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular, toroidal pervanelerin uygun geometrik konfigürasyonlarda klasik açık uçlu tasarımlara göre daha yüksek itki potansiyeli sunabileceğini net bir şekilde göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada klasik ve toroidal pervanelerin itki değerleri deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Bi-loop toroidal pervaneden elde edilen itki değerleri 2P klasik pervaneye göre ortalama %56 daha yüksek bulunmuştur.
- Tri-loop toroidal pervaneden elde edilen itki değerlerinin 3P klasil pervaneye göre ortalama %65 daha yüksek olduğu görülmüştür.
- En yüksek itki değerli 450 g olarak Tri-loop toroidal pervaneden elde edilmiştir.
- Genel değerlendirmede toroidal pervaneler, klasik pervanelere kıyasla ortalama %61 daha yüksek itki üretmiştir. Bu durum, kapalı halka (closed-loop) geometrisinin oluşturduğu daha geniş efektif disk alanı ve akışın daha verimli yönlendirilmesiyle ilişkilendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FLY-2025-14736 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağlanan maddi destek için teşekkür eder.

KAYNAKÇA

1. Almazo, D., Rodríguez, C., & Toledo, M. (2013). Selection and design of an axial flow fan. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, *7*(5), 923–926.
2. MIT Lincoln Laboratory. (2022). *Toroidal propeller* (Innovation Highlight No. 41). MIT Lincoln Laboratory. https://www.ll.mit.edu/sites/default/files/other/doc/2023-02/TVO_Technology_Highlight_41_Toroidal_Propeller.pdf
3. Alm, A., Garrison, W. P., Gomes, V. R. C., Harris, C. H., Shrauger, G. T., Whitacre, C., & Matsson, J. E. (2024). *A study of the efficiency of toroidal propeller designs* (Paper ID #44186). American Society for Engineering Education.
4. Wu, J., Wang, Q., Deasy, H., & Hang, J. (2024). A study on the effect of toroidal propeller parameters on efficiency and thrust. *Energies, 17*, 5938. https://doi.org/10.3390/en17235938
5. Žagar, L., & Jamšek, M. (2023). Comparison and analysis of toroidal and classic propellers. In *ERK'2023* (pp. 209–212). Portorož, Slovenia.
6. https://www.thkmodelucak.com/urun/cessna-400-3-pal-pervane-8x6. (Erişim tarihi: 20.12.2025)

TEK YÖNLÜ VE İKİ YÖNLÜ EŞLEME YÖNTEMLERİ İLE YÜZER YAPILARIN HİDROELASTİK ANALİZİ

Ömer Faruk AYTEMİZ
Yıldız Teknik Üniversitesi,
faruk.aytemiz@std.yildiz.edu.tr - 0009-0009-4994-388X

Serdar Turgut INCE
Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi,
serince@yildiz.edu.tr - 0000-0002-7292-8292

ÖZET

Yüzer yapılar, gemiler ve büyük deniz platformları açık deniz koşullarında dalgalarla sürekli etkileşim halinde olup bu etkileşim yapı yüzeylerinde hidroelastik tepkilerin oluşmasına neden olur. Bu tepkilerin doğru modellenmesi, gemilerin ve su üstü yapılarının güvenli ve etkin tasarımları için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bir ponton yüzer yapının düzenli baş dalgaları altındaki hidroelastik tepkileri sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Modelleme iki farklı yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. Birinci yaklaşımda, potansiyel akış teorisine dayalı frekans alanı çözücüsü Ansys AQWA ve Ansys Static Structural programları kullanılarak tek yönlü eşleme (one-way coupling) yöntemi uygulanmıştır. İkinci yaklaşımda ise açık zaman entegrasyonu kullanan geçici dinamik çözücü Ls-Dyna ile iki yönlü eşleme (two-way coupling) yöntemi ele alınmıştır. Her iki yaklaşımdan elde edilen hidroelastik tepkiler karşılaştırılmış, yöntemlerin avantajları ve hesaplama verimlilikleri tartışılmıştır. Sonuç olarak, tasarım aşamasında ihtiyaca uygun yöntem seçiminin mukavemet hesaplarının güvenilirliği açısından kritik öneme sahip olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hidroelastisite, sıvı-yapı etkileşimi (FSI), tek yönlü eşleme, iki yönlü eşleme, hidroelastik tepkiler.

1. GİRİŞ

Deniz ortamında bulunan tüm yapılar rüzgâr ve dalgalar başta olmak üzere çevresel etkenlerden etkilenirler. İleri deniz durumlarında karşılaşacakları zorlu şartlarda; akışkan-yapı etkileşimi

(FSI) ile oluşan hidrodinamik yükler ve yapısal tepkiler bütünleşik olarak yapının dayanımına etki etmektedir. Gemiler/deniz yapıları, deniz veya okyanus gibi dalgalı ortamlarda dalga kaynaklı çok farklı yüklere maruz kalmaktadır. Akışkan yapı etkileşimi neticesinde oluşan yapı üzerindeki deformasyonları da göz önünde bulundurarak yani yapının esnek olduğunu kabul ederek; dalga ile uyarılmış tepkilerin genel davranışı hidroelastik davranış olarak tanımlanır [2].

Hidroelastisite kavramının temelini oluşturan ilk çalışma 1929 yılında Inglis [3] tarafından yapılmış, geminin esnek bir yapı olduğu ve elastik bir kiriş olarak modellenebileceği fikri ortaya çıkmıştır. Heller ve Abramson [4] tarafından yapılan çalışmada "Hidroelastisite" kavramının literatürde ilk defa tanımı ortaya konmuş ve hidroelastisitenin; ataletsel, hidrodinamik ve elastik kuvvetler arasındaki karşılıklı etkileşimleri içerdiği ifade edilmiştir. Bu temel çalışmaları takiben sayısal teorik çalışmalar da yapılmıştır.

İlk çalışmalar, gemi yapılarının sergilediği hidroelastik davranışları anlayabilmek maksadıyla iki boyutlu teoriler üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında yapıların düzlem üzerindeki davranışları ve dalga kuvvetleri ile ilişkilerini açıklamaya yönelik teorik ve sayısal modeller geliştirilmeye gayret edilmiştir. Bishop ve Price [1] tarafından dalga etkilerine maruz kalan gemilerin hidroelastisitesinin incelenmesi kapsamında gemi yapısı, bir değişken kesitli Timoshenko kirişi olarak modellenmiş olup yapısal model dilim teorisi (strip theory) ile birleştirilerek iki boyutlu bir teori ortaya konmuştur. Bu teori dalgalı bir ortamda seyrüsefer yapan bir geminin kuru ve ıslak rezonans frekanslarının bulunmasını içeren iki kısımdan oluşmaktadır. Bishop ve ark. [5] tarafından yapılan titreşim analizleri dalganın ile çarpışma esnasında anlık oluşan geçici yükler üzerinde başarıyla uygulanmıştır. Zienkiewicz ve Bettess [6] tarafından sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak akışkan-yapı etkileşimleri (FSI) matematiksel bir model ile açıklanmıştır. Askeri gemi modelleri üzerinde yapılan diğer bir çalışmada [7] iki farklı sınıf firkateyn için tam ölçekli denemeler yapılmıştır. Belik ve arkadaşları [8] tarafından 20 knot hıza sahip esnek bir gemi gövdesi üzerinde düzensiz kafa dalgalarının çarpma etkisi ile oluşan geçici tepkileri analiz edilmiştir. Wu ve arkadaşları [9], tarafından yapılan hidroelastik analiz kapsamında lineer ve lineer olmayan formülasyonlar sunulmuş, bunlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Ge ve arkadaşları [10] tarafından yüksek hızlarda seyrüsefer yapan katamaran tipi bir gemi modeli üzerinde sayısal ve model deneyleri olarak ıslak güverte çarpma etkisi incelemiştir.

Bishop, Price ve Wu [11] tarafından geliştirilen üç boyutlu hidroelastisite teorisi dalga-yapı etkileşimlerini daha ayrıntılı olarak simüle edilmiştir. Bu teoride elastik yapı lineer yani doğrusal bir sonlu elemanlar yaklaşımı ile modellenmektedir. Bununla birlikte vakumda kuru doğal frekansları hesaplanmış, ıslak frekansları ise denizde ilerleyen elastik yapının etrafında oluşan akışı temsil eden üç boyutlu potansiyel akış teorisinden elde edilmektedir. Lundgren ve arkadaşları [12] tarafından geleneksel bir gemi modeli ile alışılmışın dışında bir geometriye sahip olan bir kuru havuzun karşılaştırılması yapılmış, yapılan hidroelastik analiz ile kuru havuz yapısının üç boyutlu formunun ve esnekliğinin önemli olduğu gösterilmiştir. Aksu ve arkadaşları [13, 17] tarafından düzensiz dalgalardan kaynaklı geçici yüklemeleri; üç boyutlu hidroelastisite teorisi ile analiz edilmiş, düzensiz dalgalı denizde hareket eden esnek bir mavnanın çarpma davranışının tahmin edilmesi kapsamında iki boyutlu teorinin yetersiz kaldığı, üç boyutlu yaklaşımın ise çok yönlülüğüne vurgu yapılarak daha etkili sonuç verdiği

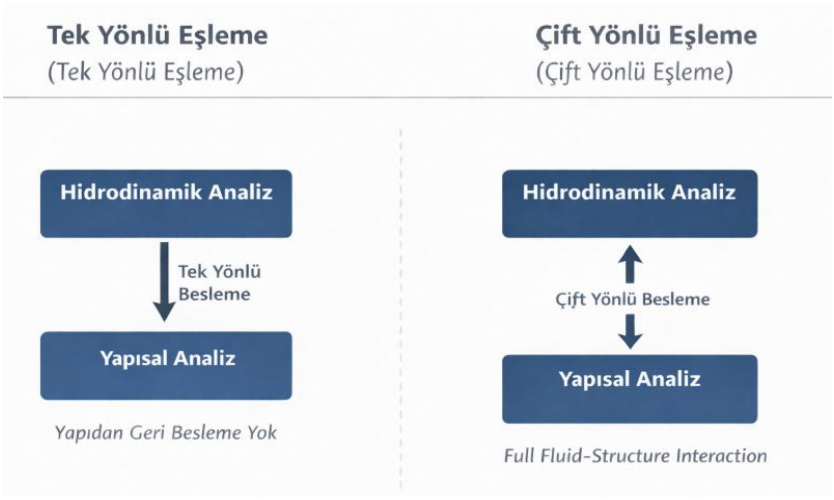
gösterilmiştir. Ergin ve arkadaşları [14], havada ve farklı derinliklerde suda sabit konumlarda titreşen esnek bir silindirin dinamik özelliklerinin (doğal ve rezonans frekansları, mod şekilleri) deneysel verilerini ve teorik tahminlerini, kaldırma kuvveti etkisini açıklayan üç boyutlu bir hidroelastik matematiksel modelden faydalanarak karşılaştırmıştır. Aksu ve arkadaşları [15] tarafından hızlı bir devriye botu incelenmiş olup kaydedilen tam ölçekli bottan alınan ölçümler ile esnek bir gövdenin çarpma davranışını açıklayan üç boyutlu hidroelastik bir yaklaşım kullanılarak teorik tahminler arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Diğer bir çalışmada iki gövdeli bir gemi tasarımı olan SWATH (Small Waterplane Area Twin Hull) üzerinde hidroelastik analizler yapılmış ve karmaşık geometriye sahip yapının modelleme zorluklarına değinerek sonuçlar ortaya konulmuştur [16]. Yelkenli bir yarış yatının dinamik davranışı, üç boyutlu hidroelastisite teorisi kullanılarak incelenmiştir [18]. Hızlı gemi tiplerinden olan bir trimaran [19] üzerinde yapılan analizlerde; üç boyutlu sıvı-yapı etkileşim modelleri kullanılarak elde edilen düzenli kafa dalgalarında çeşitli ileri hızlarda dalga kaynaklı hareketleri ve yükleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Başka bir çalışmada hidroelastikiyetin darbe basınçları üzerindeki etkisi üzerine CFD-FEM yöntemi ile kapsamlı bir analiz yapılmış ve gerçek bir S175 konteyner gemisi kullanılarak dalga yüklerinin ve çarpma basınçlarının doğrulaması yapılmış, basitleştirilmiş bir pruva parlaması ve dip çarpma basıncı tahmin yöntemi önerilmiştir [23]. Büyük genlikli dalgalarda bir konteyner gemisinin simetrik bozulmaları nümerik yöntemlerle analiz edilmiş ve deneysel sonuçlarla yapılan karşılaştırmalarda sayısal dikey eğilme momentleri ile iyi bir uyum içinde olduğu gösterilmiştir [24]. Hidroelastisite deneylerinde model olarak kullanılan gemi modellerinde farklı ölçek kullanımlarının dalga yükleri üzerindeki etkilerini araştırılması kapsamında; bölümlenmiş bir CFD-FEM iki yönlü bağlantı yöntemi esnek cisim olarak ele alınmış ve analizler ile model deneyleri arasında yapılan karşılaştırmaların iyi bir uyum sergilediği gösterilmiştir. Hirdaris ve arkadaşları [20] tarafından bir dökme yük gemisinin iki ve üç boyutlu hidroelastik analizleri yapılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Doğrusal olmayan hidroelastik problemleri simüle etmek maksadıyla birleştirilmiş CFD-FEM yöntemi kullanılmıştır [21, 22]. Ayrıca potansiyel akış teorisinden farklı bir yöntem olan CFD kullanılarak modelin dört farklı ölçekte ve model tipi özelinde, hidroelastisite analizleri üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur [25].

Bu çalışma, yüzer yapıların dinamik davranışlarını analiz etmek için kullanılan iki farklı yaklaşımın karşılaştırmalı bir değerlendirmesini sunmaktadır. Tek yönlü ve iki yönlü eşleme yöntemleri ile hidroelastisitenin incelenmesi amaçlanmıştır. Tek yönlü eşleme yönteminin hesaplama hızı avantajına rağmen, özellikle dövünme(slamming) kaynaklı gerilme zirvelerini ve yüksek frekanslı titreşimleri yakalamada yetersiz kalabildiği durumları; akışkan ve yapının eş zamanlı etkileşimine izin veren iki yönlü eşleme yaklaşımının, doğrusal olmayan ve viskoz etkileri de hesaba katarak elde edilen veriler kıyaslanmış ve gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma ile gemilerin/yapıların tasarım aşamasında ihtiyaca uygun metodolojik seçimin yapılmasının önemi vurgulanmış, bu kapsamda yapısal güvenliğin ve mukavemet hesaplarının doğruluğu açısından ne kadar kritik olduğu ve hidroelastisite tekniklerinin doğruluğu, hesaplama verimliliği gibi veriler üzerine somut bir karşılaştırma sunarak, gelecekteki daha güvenli ve optimize edilmiş deniz yapılarının tasarımı için metodolojik bir temel oluşturmaktadır.

2. METOD

Bu çalışmada, bir ponton yüzer yapının düzenli baş dalgaları altında dalgalar ile girdiği etkileşim esnasında meydana gelen hidroelastik davranışları/tepkilerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Hidroelastisite teorisi, yapının esnek olduğunu kabul ederek; akışkan basıncı nedeniyle oluşan dinamik durum değişikliklerini ve yapının deformasyonu neticesinde etrafındaki basınç alanında meydana gelen bozulmaları eş zamanlı olarak değerlendirir [2]. İki farklı sayısal yaklaşım içeren programlar benzer durumlar ve parametreler altında karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. Tek yönlü eşleme ve çift yönlü eşleme yöntemlerine ait işleyiş şeması Görsel 1'de görülmektedir.



Görsel 1. Tek Yönlü ve Çift Yönlü Eşleme Yöntemleri

Birinci yöntem, lineer potansiyel akış teorisine dayanan ve frekans alanında çözüme ulaşan Ansys AQWA çözücüsüdür; bu yaklaşımda hidrodinamik yükler hesaplandıktan sonra statik yapısal modele aktarılmakta ve yapının deformasyonunun akışkanı etkilemediği tek yönlü (one-way) eşleme yöntemi uygulanmaktadır. Tek yönlü eşleme şemasında, akışkan simülasyonu gemiyi rijit bir gövde olarak ele alır ve hesaplanan basınç ile atalet yüklerini yapısal modele bir sınır koşulu olarak iletir; ancak yapı üzerindeki şekil değişimleri akışkan alanına geri beslenmez. Bu durum, özellikle "added mass" (ek su kütlesi) etkilerinin yapısal titreşimler üzerindeki katkısının ihmal edilmesine ve yüksek frekanslı dinamik tepkilerin gerçek değerinden daha düşük tahmin edilmesine neden olabilir. İkinci yöntem ise açık zaman integrasyonu kullanan ve Keyfi Lagrangian-Eulerian (ALE) formülasyonunu temel alan Ls-Dyna çözücüsüdür. Bu yöntemde, akışkan basıncı yapıya uygulanırken yapının esnemesi de eş zamanlı olarak akışkan alanını güncellemekte, böylece çift yönlü (two-way) eşleme yöntemi ile tam bir sıvı-yapı etkileşimi (FSI) sağlanmaktadır. Çift yönlü eşleme mekanizması, her küçük zaman adımında akışkan ve yapının karşılıklı bilgi alışverişinde bulunduğu bir kapalı döngü sistemi gibi çalışır; yapının yeni deforme olmuş hali bir sonraki adım için akışkanın yeni sınır koşulu olur. Bu etkileşim, ALE algoritmasının Lagrangian (katı) ve Eulerian (akışkan) ağ avantajlarını birleştirmesi sayesinde, özellikle "slamming" (çarpma) kaynaklı "whipping" (kırbaçlanma) ve "springing" (yaylanma) gibi yüksek derecede doğrusal olmayan (non-linear) olayların modellenmesinde kritik öneme sahiptir.

Her iki metodun doğruluğunu ve verimliliğini kıyaslamak için ponton modeli, birebir aynı özelliklere sahip düzenli baş dalgaları altına yerleştirilerek analiz edilmiştir. Yapısal performansın değerlendirilmesinde, malzemenin karmaşık gerilme durumunu tek bir pozitif değere indirgeyen ve akma kriteri olarak kabul edilen Von-Mises (eşdeğer) gerilmeleri temel alınmıştır. Analizler sonucunda gövde üzerindeki deformasyonlar, dikey eğilme momentleri (VBM) ve dikey kesme kuvvetleri (VSF) gibi kritik mukavemet parametreleri, her iki yazılımın sunduğu sonuçlar üzerinden incelenmiştir. Çalışmanın metodolojik kapsamı, lineer teorilerin sınırlamaları ile doğrusal olmayan (non-linear) etkilerin yakalanması arasındaki farkı ortaya koymak ve bu çerçevede tasarım sürecinin farklı aşamalarında hangi yöntemin seçilmesi gerektiği konusunda teknik bir rehber sunmaktadır.

3. MODELLEME

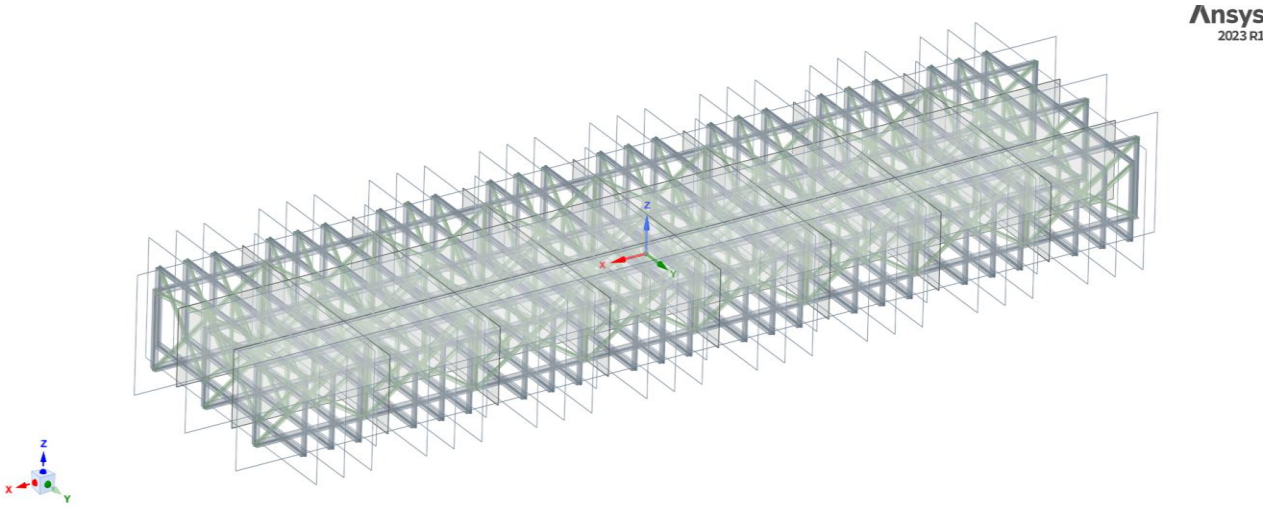
Çalışmanın bu bölümünde düzenli dalgalarda hidroelastik tepkilerinin incelenmesi için oluşturulacak sonlu elemanlar modelinin, ortam şartlarının yani sınır şartlarının her iki sonlu elemanlar programında da modellenme sürecinden bahsedilecektir. Tek yönlü eşleme (one way coupling) ve çift yönlü eşleme (two way coupling) yöntemleri ile modelleme aşamaları ve kullanılan kritik parametreler detaylı olarak gösterilmiştir.

3.1. Yüzer Ponton Elemanın Modellenmesi

Yüzer bir pontonun global dayanım analizini yapmak için Ansys SpaceClaim programı kullanıldı. Bahse konu ponton yüzer yapı modeli 30 metre uzunluğunda ve içerisinde çeşitli yapısal elemanlara sahiptir. Çizelge 1'de pontonun ana boyutları ve ponton sonlu elemanlar modeli Görsel 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Modelin Ana Boyutları

Ölçüler	Miktar	Birim
Uzunluk, *L*	30	m
Genişlik, *B*	8	m
Derinlik, *D*	2,4	m
Draft, *T*	0,5	m
Deplasman, Δ	121,31	t



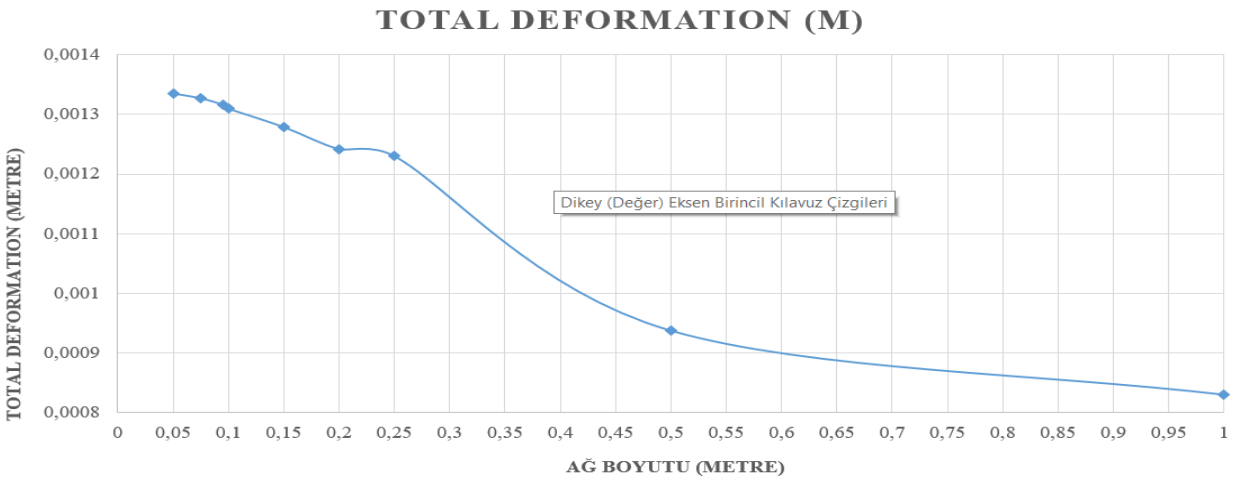
Görsel 2. Ponton Sonlu Elemanlar Modeli

Gemi yapılarını içeren sonlu elemanlar modelinde genellikle eleman türleri olarak kabuk ve L braket elemanları kullanılır. Yüzer pontonun genel dayanımını arttırmak için modelde yapısal elemanlardan; boyuna ve enine L braketler, enine perdeler, boyuna ve enine ara elemanlar kullanılmıştır.

Pontonun dış çerçevesini oluşturan braketlerde 150X150X14 mm ebatlarında, iç kısımlarda kullanılan elemanlarda ise 100X100X10 mm ebatlarında L braketler kullanılmıştır. Dış teknede ve iç elemanlarda kullanılan yüzey (surface) elemanları 12 mm kalınlığa sahiptir. Ansys programı, braket elemanlarını atanan kesit ile çizgiler olarak gösterir. Braket elemanlarını yüzeylerle başarılı bir şekilde bağlamak için braket elemanının yüzey elemanına temas eden iki ucunun da yüzey elemanının üzerine kavuşur şekilde teması düzgün bir şekilde sağlanmalıdır. Bu nedenle, braket elemanları oluşturulduktan sonra yüzey elemanı ile temas eden kısımları "direction" seçeneği ile braket merkezinden geçen çizgi etrafında döndürülmelidir, böylece braket çizgisi yüzey elemanın yüzeyine tam kavuşacak şekilde yerleştirilir [26].

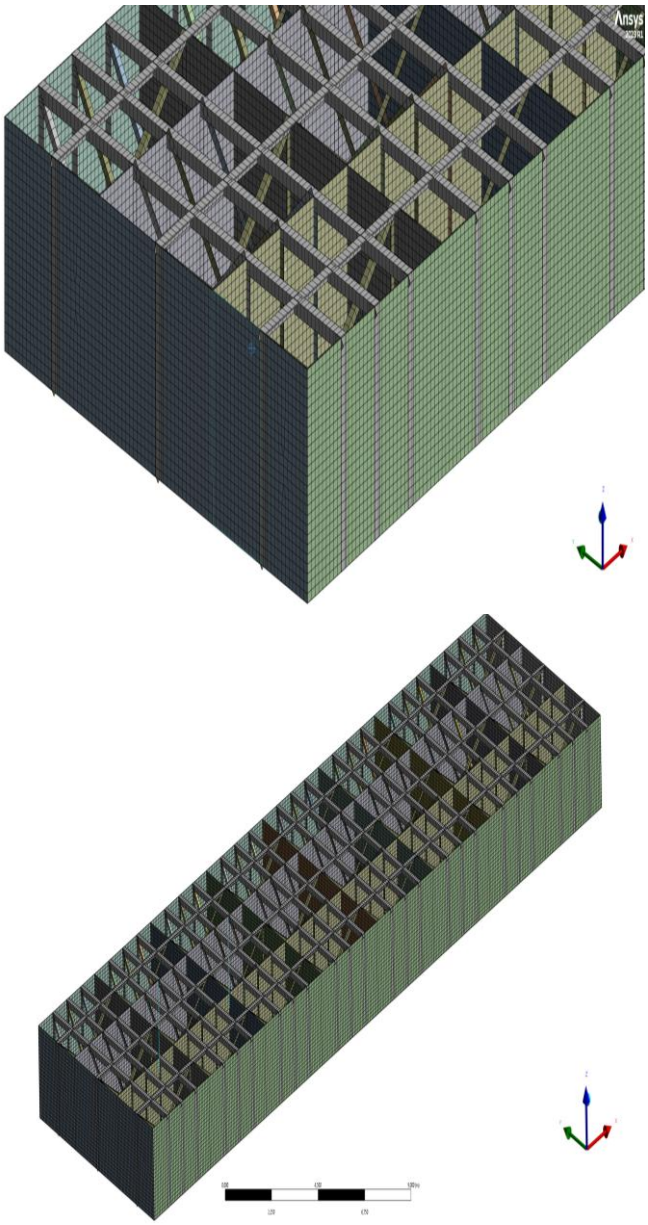
3.2. Ağ Oluşturma Stratejisi

Ağ boyutunu ve ağ yapısını seçerken aynı ağ yapısının hem Ls-Dyna hem de Ansys AQWA analizlerinde kurulacak taslak modelde kullanılacağı, aynı zamanda hesaplama maliyetini mümkün olduğunca az tutmaya çalışırken en efektif sonuçların alınması ihtiyacı göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle ağ yapısını seçerken Ansys Static Structural'daki statik analizlerde elde edilen kararlı değerlerden en büyük ağ yapısı boyutu seçilmiştir. Görsel 3'de statik analizde elde edilen kararlı değerler gösterilmiştir. Ağ boyutu optimizasyon çalışmaları neticesinde tüm analizlerde kullanılmak üzere en efektif ağ boyutunun 0,1 m olarak kullanılmasına karar verilmiştir.



Görsel 3. Statik Analizde Elde Edilen Deformasyon Değerleri

Model üzerinde düzgün bir şekilde ağ yapısı oluşturulması için model elemanlarının bağlantılarını da kontrol etmek gerekir. Ansys SpaceClaim'de oluşturulan modelin topoloji paylaşmayan parçaları vardı. Bu bahse konu parçaların serbest olduğu, bir yere bağlı olmadığı ve herhangi bir temaslarının olmadığı anlamına gelebilir. SpaceClaim içerisinde ilk olarak oluşturulan modelin yüzleri, kenarları ve köşeleri paylaşmasına izin vermek için "Paylaşılan Topoloji" özelliği kullanılarak paylaşım sağlandı. Bu özellik düzgün ağ oluşturma üzerinde etkilidir. Böylece ponton model elemanları arasında uyumlu ağ yapısı elde edilir. Daha sonra model elemanları üzerinde onarım seçenekleri ile uyuşmayan kenar, yüzey, köşe gibi hatalı geometrilerin tespiti ve onarımı yapılmış olup model optimize edilmiş ağ boyutu ile örülmüş ve oluşturulan sonlu elemanlar modeli Görsel 4'te gösterilmektedir.



Görsel 4. Ağ Boyutu 0,1 m ile Örülmüş FE Modeli

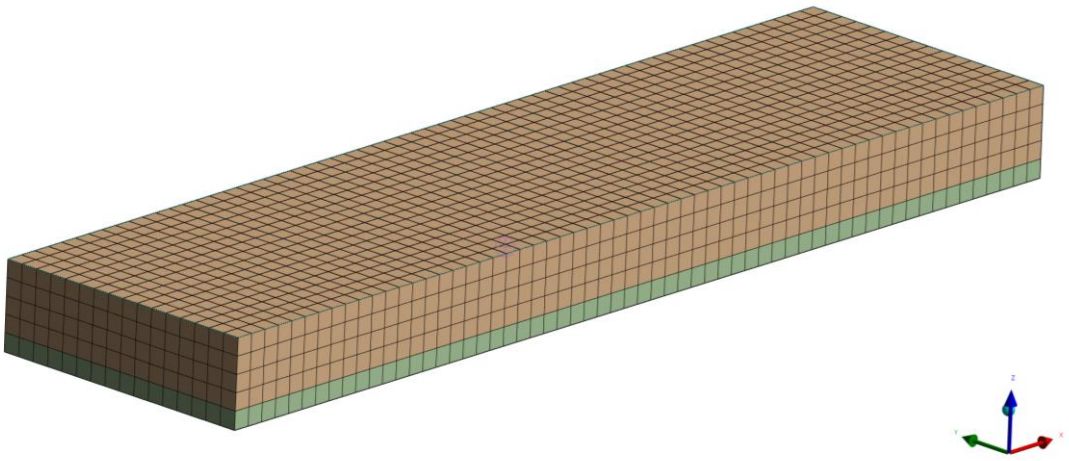
Görsel 4, gemi modelinin ağ yapısını ve üst yüzeyi gizlenmiş olarak iç elemanlarını göstermektedir. Bu durumda ağ yapısı çoğunlukla kare elemanlardan oluşurken nadiren üçgen elemanlar da gözükmektedir. Ağ oluşturma işlemi 106.814 eleman ve 110.494 düğüm içermektedir.

3.3. Tek Yönlü Eşleme (One Way Coupling) Yöntemi ile Hidroelastik Modelleme

Çalışmanın bu bölümünde bir yarı-statik hesaplama yöntemi ile Hidrodinamik Basınç Haritalama ACT (ANSYS Customization Toolkit) uzantısı yardımıyla bir FSI analizi yapılmış ve yapısal mukavemet açısından kritik değerler üzerinden modelin yeterliliği incelenmiştir. Hidrodinamik hesaplamalar Ansys AQWA kullanılarak gerçekleştirildi, hidrodinamik modelleme için Ansys AQWA'da ponton modelin iç elemanları olmadan sadece dış tekne yüzey elemanları kullanıldı. Ansys AQWA, geminin sadece ıslanmış yüzeyleri ile ilgilenir ve

hesaplamaya dahil eder [26]. Bu modellerde yüzey normallerinin dışa doğru bakması gerekir ve bu durum kontrol edilmelidir. İlk aşamada Spaceclaim'de hazırlanan yüzey model, AQWA'da tam olarak işlevsel çalışmamaktadır. Bu nedenle aynı modelin Ansys DesignModeler'de düzenlenmesi gerekir. Bu aşamada seçilen yüzeylerde kalınlık 0 (sıfır) olarak ayarlanmalıdır. Ayrıca tekne su hattından alt ve üst tekne yüzeyi olarak ikiye bölünmelidir. Burada Ansys DesignModeler'de düzenlenen yüzey modeli Ansys AQWA içine aktarılmıştır.

Hidrodinamik ağ oluşturulması kapsamında programın bazı sınırlamaları mevcuttur, ağ sayısı için bir üst sınır vardır [26]. Model çok büyük olmadığından 0,5 m ağ boyutuna kadar düşülebildi. Ancak büyük bir konteynır gemisi veya yolcu gemisi olsaydı; ağ sayısının programın izin verdiği üst sınırı aşmaması için daha büyük bir ağ boyutu oluşturmamız gerekebilirdi. Yapısal modelde 0,1 m ağ boyutu belirlenmişti. Hidrodinamik ağ yapısal modelde kullanılan ağdan daha kaba yapılır. 0,5 m ağ ile örülmüş ponton gövde modeli Görsel 5'te gösterilmiştir.



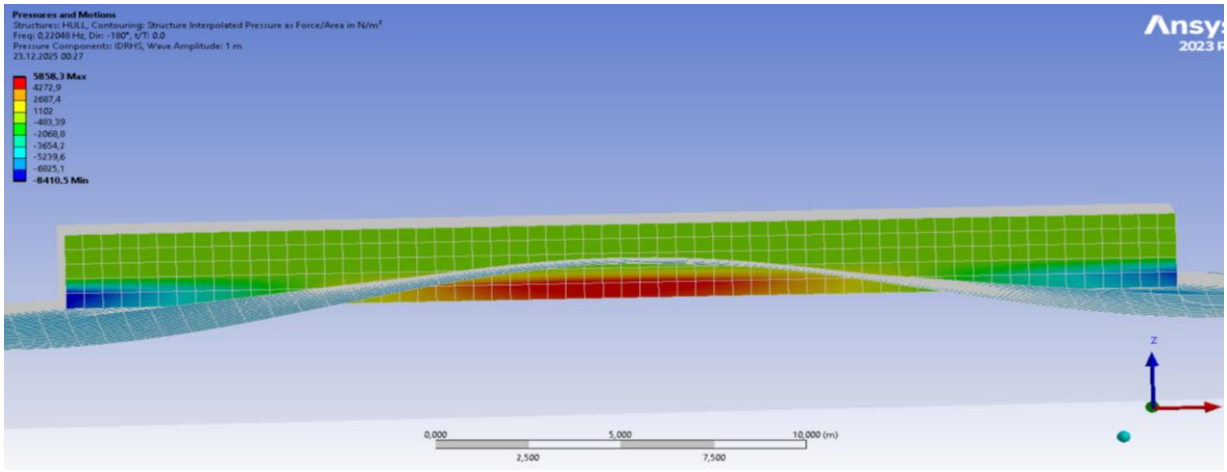
Görsel 5. 0,5 m Boyutunda Hidrodinamik Ağ

Gövde yüzeyi AQWA'ya eklendiğinde hiçbir yapı kütlesi yoktur ve bu hesaplanmalıdır. Ansys AQWA programı ağırlık değeri, ağırlık merkezi konumu (COG-Centre of Gravity) ve kütle atalet momenti değerleri (Ixx, Iyy, Izz) girildikten sonra dalga kaynaklı hidrodinamik basınç değerlerini hesaplayabilir. Kütle atalet momenti değerleri yerine dönme yarıçap (Kxx, Kyy, Kzz) değerleri de girilebilmektedir.

Ansys AQWA'da "hidrodinamik kırınım" ve "hidrodinamik tepki" olarak iki farklı analiz türü vardır. Hidrodinamik kırınım analizinde frekans alanı yaklaşımı kullanılır, hidrodinamik yanıtlar analizinde ise zaman alanı yaklaşımı kullanılır. Hidrodinamik basınç değerlerinin hesaplanması ve daha sonra yapısal modele haritalama yöntemi ile aktarabilmek için hidrodinamik kırınım analizinin kullanımı gereklidir. Hidrodinamik yanıtlar analizi haritalama yöntemi ile aktarılamamaktadır. Dalga kriterleri; dalga frekansı, dalga yüksekliği gibi karakteristik değerler belirlendi. Bir diğer önemli dalga parametresi ise dalga frekansıdır.

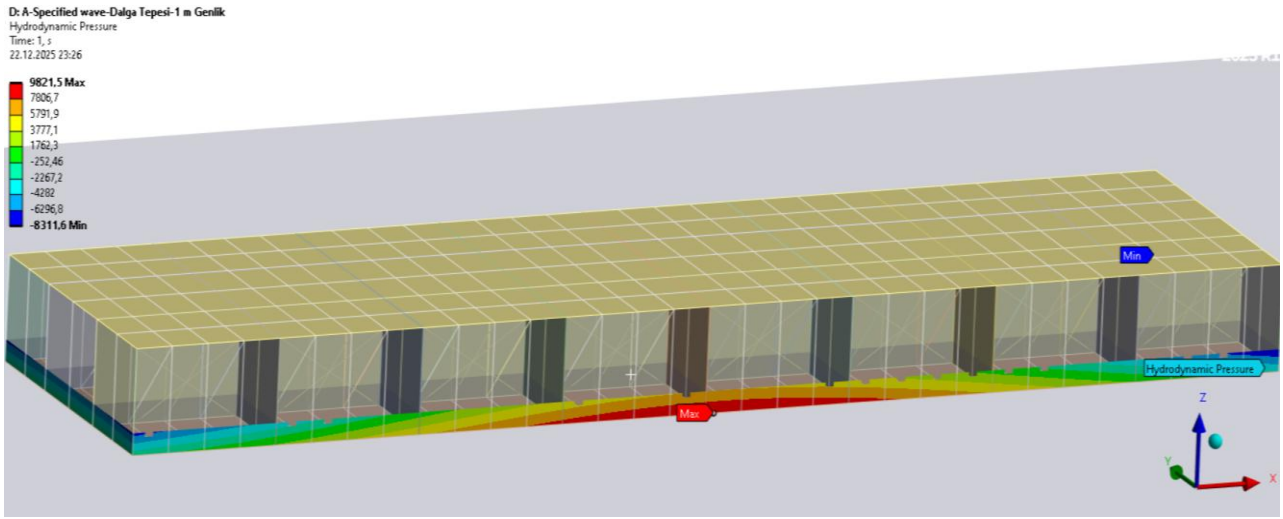
Maksimum ve minimum dalga frekanslarının değerleri, analiz için belirtilen ağ boyutuna ve su derinliğine bağlıdır. Maksimum dalga frekansı, ağ boyutuna göre ayarlanır [26].

Müteakiben program belirlenen kriterlere sahip düzenli baş dalga kaynaklı hidrodinamik basınçları hesaplayabildi. Görsel 6'da düzenli baş dalga kaynaklı hesaplanan hidrodinamik basınçlara ait bir an gösterilmiştir.



Görsel 6. Düzenli Baş Dalga Kaynaklı Oluşan Hidrodinamik Basınçlar

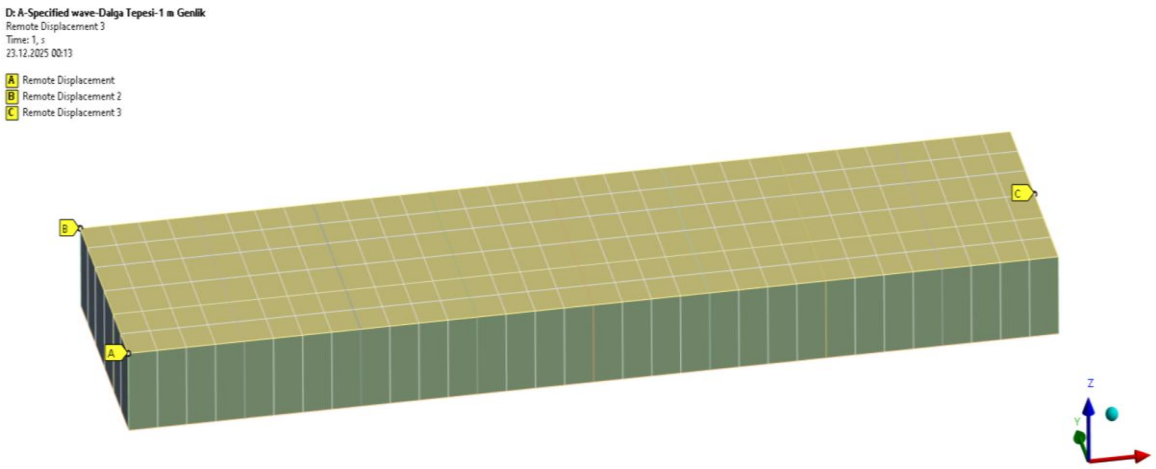
İçerisinde yapısal elemanları olan ponton model Ansys SpaceClaim'de daha önce hazırlanmıştı, SpaceClaim kullanılarak yapısal model optimizasyon ve sadeleştirme işlemlerine tabi tutuldu ve sonraki analiz için hazır hale getirildi. Ansys Static Structural kısmına aktarıldı, FE modeli burada en efektif ağ boyutu olan 0,1 m ağ ile örüldü. Son olarak ponton yüzeyinin su ile temas eden yüzeylerinde oluşan hidrodinamik basınçlar, haritalama ACT uzantısı ile Ansys Static Structural içerisinde bulunan ponton model üzerine aktarıldı. Görsel 7'de hidrodinamik basınç haritalama yöntemi ile aktarılan hidrodinamik basınçlar gösterilmiştir.



Görsel 7. Hidrodinamik Basınç Dağılımı

Ansys AQWA'daki hidrodinamik basınçlar pascal (Pa) biriminde gösterilmiştir. Haritalama yöntemi ile aktarılan basıncın kalitesi, AQWA'da kullanılan yüzey modeli (hydrodynamic mesh) ile Static Structural'daki yapısal modelin (structural mesh) geometrik uyumluluğuna doğrudan bağlıdır. Analiz doğruluğu açısından, her iki modelin de toplam kütle, kütle merkezi (CoG) koordinatları ve kütle dağılım karakteristiklerinin birebir aynı olması gerekmektedir. Uyumsuzluk tespit edildiğinde yapısal modelde ek kütle veya alan yükü olarak uygulanarak ağırlık ve atalet momentleri değerleri ayarlanmalı ve eşitlenmelidir. Aksi halde yapılan hesaplamalar yanıltıcı sonuçlar verecektir [26]. Bu yöntem ile sadece frekans alanı sonuçları Ansys Static Structural'da kullanılan yapısal modele aktarılabilmektedir, bu nedenle zaman alanı analizi verileri kullanılmamıştır. Hidrodinamik basınçların haritalama aracı ile hidrostatik basınçlar, kırınım (diffraction) ve radyasyon (radiation) kaynaklı dinamik basınçlar, lineer hidrodinamik basınç terimlerinin yapısal modele aktarımı sağlanmaktadır.

Yapısal analiz kısmında FEM modelinde katı cisim hareketinin önlenmesi ve sayısal çözünürlüğün sağlanması amacıyla uygun sınır şartları tanımlanmıştır. Bu şekilde model üzerinde aşırı ve dengesiz kuvvetlerin oluşmasının önüne geçilir. Sınır şartlarının belirlenmesinde, çeşitli klas kuruluşlarının (DNV, ABS, BV vb.) gemi modelleri için önerdiği standart prosedürlerden ilham alınmış olup çalışma kapsamında kullanılan ponton geometrisine uygun hale getirilmesi maksadıyla özelleştirilmiştir. Yapısal model üzerinde uygulanan bahse konu kısıtlamalar Görsel 8'de gösterilmektedir.



Görsel 8. Yapısal Model Üzerinde Uygulanan Sınır Şartları

A, B ve C noktalarında uygulanan kısıtlamalar; yapısal model üzerinde gerilme yığılması ve kuvvet birikiminin en düşük olacağı stratejik düğüm noktalarından uygulanmıştır. Belirlenen üç noktalı kısıtlama yöntemiyle modelin öteleme ve dönme serbestlik dereceleri sınırlandırılmıştır.

3.4. Çift Yönlü Eşleme (Two Way Coupling) Yöntemi ile Hidroelastik Modelleme

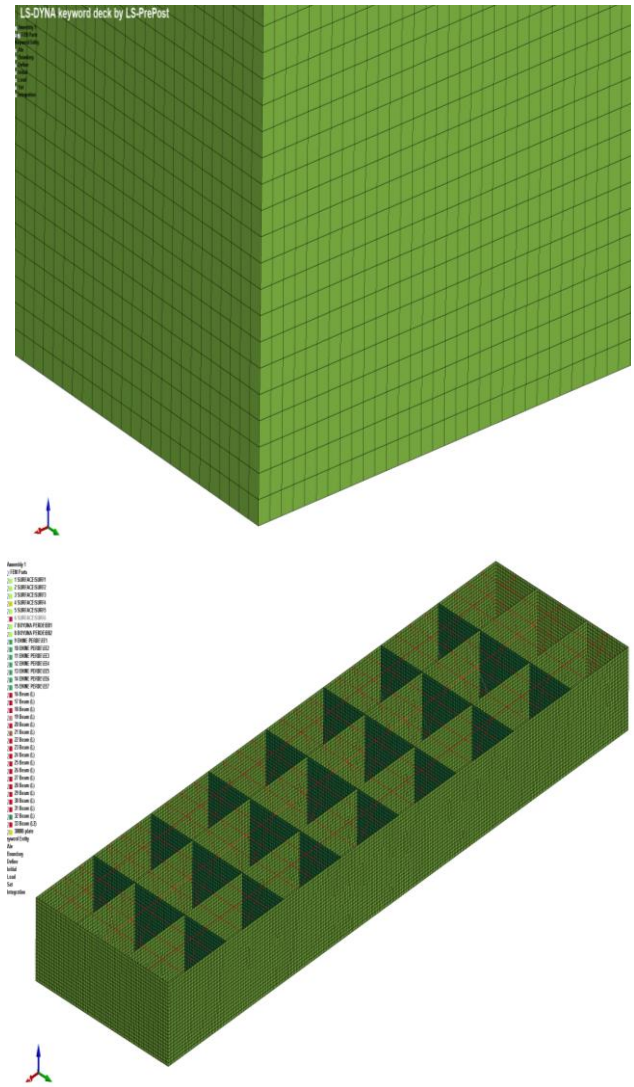
Çalışmanın bu bölümünde Ls-Dyna programı kullanılarak modelleme süreci açıklanacaktır. Çalışmada kullanılan Ls-Dyna denklemleri ve eleman formülasyonlarını içeren teorik

temelden, ALE akışkan elemanlarının (su ve hava), dalga yapıcı (piston tip) ve Lagrangian kabuk elemanlarının modellenme sürecinden, ponton modelinin Ansys Mechanical'da ağ ile örüldükten sonra ağ yapısının Ls-Dyna programına aktarılması ve burada yapılan son düzenlemeler ile modellemenin tamamlanma sürecinden ve akışkan-yapı etkileşimi (FSI) kurulurken kullanılan sınır şartları ve kritik parametrelerden bahsedilecektir.

Ls-Dyna endüstride çeşitli alanlarda doğrusal olmayan problemlerin modellenmesinde ve çeşitli simülasyonlar oluşturulması ile bu alanlarda analiz imkânı sağlayan sonlu elemanlar yazılımıdır. Bahse konu yazılım sac metal şekillendirilmesi, çarpma/çarpışma/patlama senaryoları ve akışkan-yapı etkileşimini içeren zor problemlerin incelenmesine imkân tanır. Sıvı-yapı etkileşiminin (FSI) zaman alanında yüksek hassasiyetle çözülmesi maksadıyla bu çalışmada ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, geleneksel Lagrangian ve Eulerian yaklaşımlarının avantajlarını birleştirmekte ve sayısal kararlılık sağlamaktadır [27].

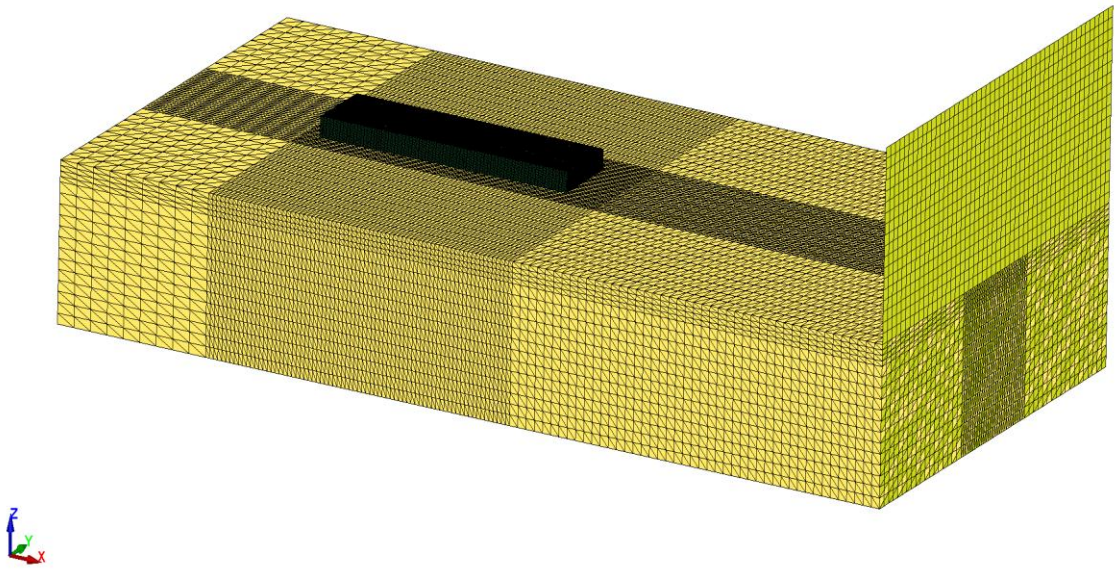
Ponton sonlu elemanlar modeli Lagrangian formülasyonu ile katı olarak tanımlanır, yani katı eleman üzerinde oluşturulan ağ her zaman adımında malzemeyle birlikte hareket eder ve deforme olur. Akışkan elemanları (su ve hava) Eulerian formülasyonu ile tanımlanır, yani kullanılan ağ hücreleri uzayda sabittir ve akışkan bu hücrelerin içinden akar. ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) yöntemi ise bu iki yöntemi birleştirir. Akışkan ağı, katı sınıra yakın bölgelerde katının hareketiyle uyumlu şekilde deforme olabilir, böylece akışkan ve yapı arasındaki etkileşim, geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha hassas bir şekilde hesaplanabilmektedir. Özellikle serbest yüzey hareketlerinin ve büyük deformasyonların söz konusu olduğu akışkan-yapı etkileşimi (FSI) problemlerinde daha doğru yanıtlar elde edildiğinden dolayı güncel mühendislik çalışmalarında ve literatürde bu yönteme olan yönelim fazladır.

Yapısal model ponton için 0,1 m ağ boyutu ile ağ oluşturulmuştu. Bahse konu katı model Ansys içerisinde ağ oluşturulduktan sonra Ls-Dyna çözücüsünün ön hazırlık ve sonuç inceleme arayüzü olan Ls-PrePost içerisine aktarılmıştır. Katı model Görsel 9'da gösterilmiştir.



Görsel 9. Lagrange Katı Model

Akışkan modeli, hava ve su olmak üzere iki parçadan oluşmakta olup, hava için kullanılan alanın boyutları 151×50×42 metre ve su bölgesi için 150×50×15 metredir. Analizin başında denemeler sırasında su ve hava akışkan elemanları ALE ağ yapısı ile kurgulanmış, ancak çalışmanın ilerleyen zamanlarında S-ALE metodu kullanılarak daha efektif ağ yapısı oluşturulmuştur. Hava alanı dalga yapıcının hareket alanı da hesaba katılarak dalga yapıcının arkasına doğru 1 metre olacak şekilde uzatılmıştır. Akışkan ağ boyutu ponton yüzeyi çevresinde 0,5×0,5×0,5 m olup, dikey yukarı ve aşağı yönlerde ağ boyutları artmaktadır. Bu ağ tasarımı S-ALE (Structured ALE) yöntemi ile mümkün olmaktadır. S-ALE çözücüsü, kullanıcı girdilerindeki hataları azaltmayı ve FSI simülasyonunun daha kolay kurulmasını sağlamayı amaçlamaktadır [27]. S-ALE ile oluşturulan bu ağ modeli ile analizin hesaplama maliyetinde de çok önemli miktarda fayda elde edilmiştir. S-ALE ağ yapısı, bir Lagrangian eleman rijit olarak modellenen piston tip dalga yapıcı ve akışkan alanları Görsel 10'da gösterilmiştir.



Görsel 10. ALE Akışkan ve Lagrange Katı Elemanlar

Analiz koşullarının oluşturulması maksadıyla düzenli dalgaların üretilebilmesi için bir eğri fonksiyonu tanımlanmış böylece sinüzoidal salınım yapan bir dalga yapıcı oluşturulmuştur. Su, dalga yapıcıya anahtar kelime ile sadece sıkışma durumunda bağlanmış olup bu durum sıvının yapının içine giremeyeceği, ancak yapıdan serbestçe uzaklaşabileceği anlamına gelir. Su ve dalga yapıcı arasındaki bu ek akışkan-yapı etkileşimi, sıvının Lagrange elemanlarına analiz açısından fazladan bir bağlanma gerektirmesi nedeniyle simülasyon için gereken hesaplama süresini artırır. Dalga üretecinin hareketi suda belirgin ve düzgün iki eş dalga oluşana kadar devam etmiştir.

Akışkan-yapı etkileşimlerinde en kritik kartlardan CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID kartı; sıvı ile lagrangian (katı) yapılar arasında bağlantı kurmak maksadıyla kullanılmıştır. Bahse konu kart da birkaç parametre, akışkan ve yapının bağlantısı için çok hassastır. Bağlantıda akışkanın yapı içerisine sızması (leakage) veya aşırı büyük ceza kuvvetleri nedeniyle oluşabilecek sayısal kararsızlıklar gibi belirleyici durumlar dikkatle kontrol edilmelidir. Ceza faktörü (penalty factor), akışkanın katı yapı sınırlarını ihlal etmesini önlemek için sanal yaylar aracılığıyla uygulanan geri itici kuvvetlerin şiddetini belirleyen bir katsayıdır [27].

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Tek Yönlü Eşleme (One Way Coupling) Yöntemi Sonuçları

Tek Yönlü Eşleme (One Way Coupling) Yöntemi ile modelleme sürecinde potansiyel akış teorisini kullanan bir frekans alan çözücüsü olan Ansys AQWA kullanılmıştır. Bu yöntemde Ansys AQWA ve Ansys Static Structural programları birbirleriyle bağlantı kurularak modelleme oluşturulmuştur. Tek yönlü eşleme (one way coupling) yöntemi ile kurulan akışkan-yapı etkileşimi (FSI) düzenli baş dalgaları altında elde edilen yüzer yapının hidroelastik tepkileri incelenmiştir. Her iki yöntemde de kullanılan dalga özellikleri Çizelge 2'de

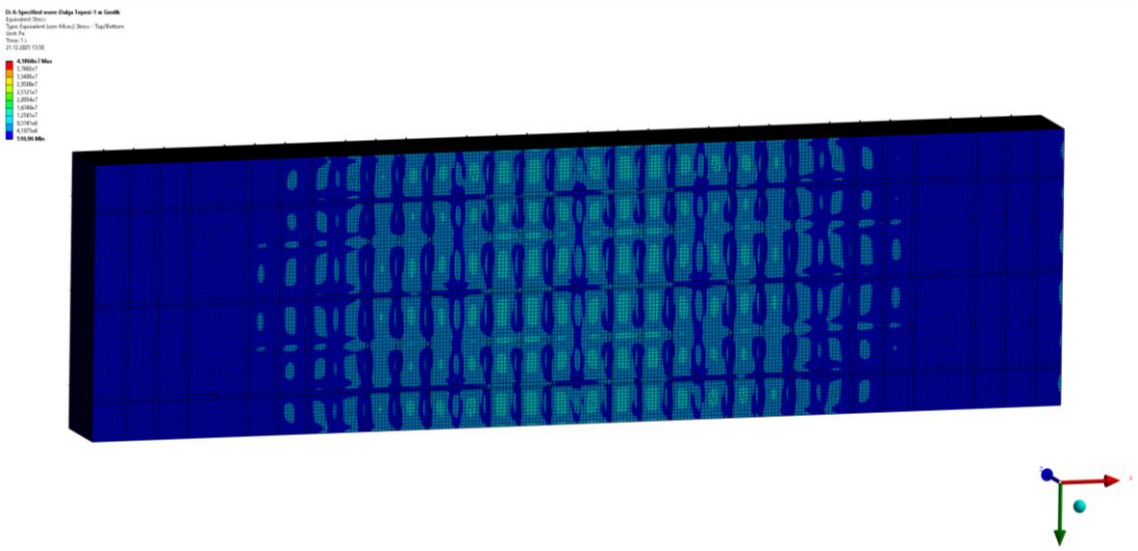
gösterilmiştir. Seçilen dalga boyu yüzer yapının boyuna yakın ve en etkili olacak şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 2. Belirlenen Dalga Özellikleri

Ölçüler	Miktar	Birim
Dalga Boyu (λ)	32	m
Dalga Frekansı (f)	0,2204	Hz
Dalga Periyodu (T)	4,53	sn
Dalga Yüksekliği (h)	2	m
Dalga Genliği (A)	1	m
Açısal Frekans (w)	1,38	rad/s

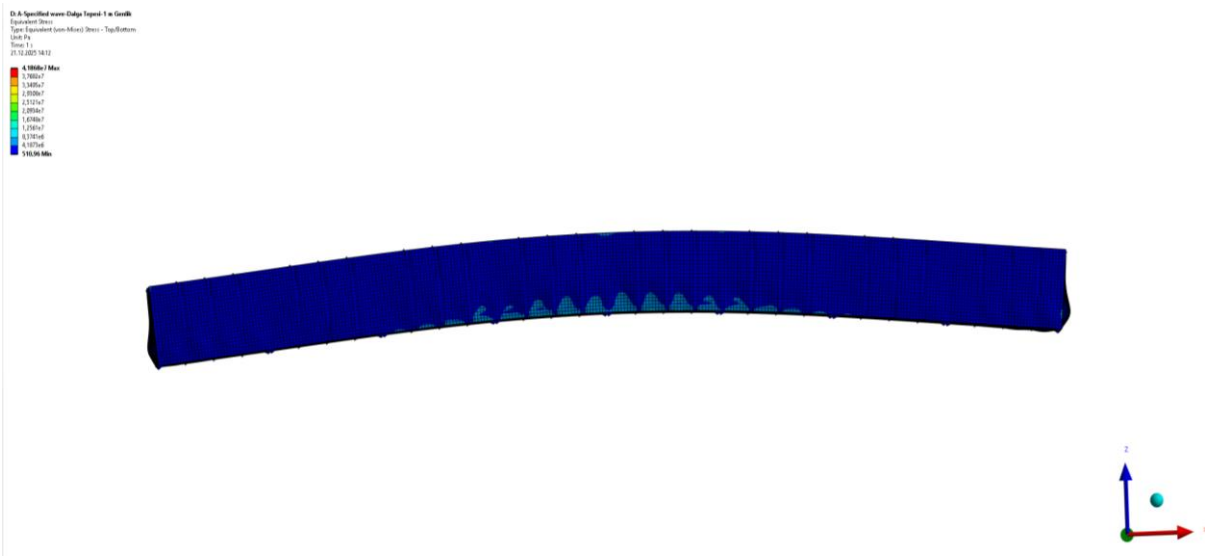
Burada kullanılan yöntem iki yönlü eşleme (two way coupling) yöntemine göre daha az analiz maliyetine sahiptir, bu nedenle aynı süre içerisinde bu yöntem ile daha fazla deneme yapabilme imkânı mevcuttur. Etkin dalga boyunda seçilen düzenli baş dalgaların yüzer yapı ile girdiği etkileşimlerde yapısal zorlanmaların en yüksek olduğu anlar genellikle dalga tepesi (faz açısı 0°) ve dalga çukuru (faz açısı 180°) konumlarında gözlenir. Bu durumlar, gemi bünyesinde oluşan boyuna eğilme momentlerine bağlı olarak sırasıyla baş-kıç çökmesi (hogging) ve orta çökme (sagging) olarak adlandırılmaktadır. Yapının orta kısmının dalga tepesiyle desteklendiği ve uç kısımların askıda kaldığı Hogging durumu ile orta kısmın dalga çukuruna denk gelerek çöktüğü Sagging durumu, yapısal mukavemet analizlerinin en temel zorlanma biçimleridir.

Bu çalışma kapsamında, analizlerin odak noktasını belirlemek amacıyla yalnızca dalga tepesi (baş-kıç çökmesi) anındaki etkileşimler incelenmiştir. Bu doğrultuda; tek yönlü eşleme yöntemi ile elde edilen dalga tepesi konumunda yüzer pontonun maruz kaldığı gerilme bileşenlerinin bir bileşkesi olan Von-Mises değerleri Görsel 11'de gösterilmiştir.



Görsel 11. Dalga Tepesi Durumunda Ponton Üzerinde Oluşan Von-Mises Dağılımı

Oluşan gerilmelerin beklendiği gibi dalga tepesinin ponton modelin orta kesitlerine denk gelmesi nedeniyle modelin alt yüzeyinde orta kesitlerde toplandığı gözlemlenmiştir. Bu durumdaki en şiddetli gerilmeler 41,86 MPa olarak hesaplanmış olup pontonun alt yüzeyinde bulunan, pontonu çerçeve gibi saran, enine ve boyuna L braketler ile enine ve boyuna perde elemanlarının birleşim noktalarında meydana gelmektedir.



Görsel 12. Dalga Tepesi Durumunda Gerilme Etkisi Altındaki Pontonun Sembolik Gösterimi

4.2. İki Yönlü Eşleme (Two Way Coupling) Yöntemi Sonuçları

Tek yönlü eşleme (one-way coupling) yöntemi ile hidrodinamik yükler yapısal modele yalnızca bir sayısal veri olarak aktarılır ve yapının deformasyonu hesaplana akışkan alanını etkilemez; iki yönlü eşleme (two-way coupling) yönteminde ise akışkan ve yapı arasında tam zamanlı ve karşılıklı bir etkileşim mevcuttur. Bu yöntemde her bir küçük zaman adımında; akışkanın basıncı yüzer yapı yüzeyine yük olarak uygulanır, yapı bu yük altında elastik deformasyona uğrar, yüzer yapının deformasyona uğramış güncel yüzey geometrisi bir sonraki zaman adımında akışkanın yeni sınır koşulu olarak kabul edilir. Yapı yüzeyindeki bu değişmeler dalga alanını ve akış karakteristiğini doğrudan etkiler. Bu yöntemin hidroelastisiteyi modellemede daha hassas ve doğru sonuçlar vermesi beklenir. Ancak bu karşılıklı etkileşimin modellenmesi, tek yönlü analizlere kıyasla akışkan-yapı etkileşimi kurulması çok daha maliyetli ve karmaşık bir analiz yöntemidir. Bu nedenle, katı (Lagrangian) ve akışkan (Eulerian) elemanlar arasındaki bağlantı (coupling) mekanizmasının, enerji korunumu ve kararlılık açısından son derece hassas bir şekilde kurulması gerekmektedir [27].

İkinci modelleme sürecinde açık zaman entegrasyonu (explicit time integration) kullanan bir geçici dinamik çözücü olan Ls-Dyna ile Ansys AQWA modelindeki dalga özellikleri ile aynı özelliklere sahip düzenli dalgalar oluşturulmuştur. Eş düzenli dalganın oluşturulması kapsamında dalga yapıcıya bir hareket fonksiyonu tanımlanmış ve bu doğrultuda periyodik bir piston hareket kabiliyeti kazandırılmıştır. Hareketin tanımlanması için *BOUNDARY_PRESCRIBED_MOTION_RIGID kartı kullanılmış, aşağıdaki denklem ile dalga yapıcıya bahse konu hareket tanımlanmıştır. Aşağıda sunulan fonksiyon denklemi bir transfer fonksiyonudur; istenilen dalga yüksekliğinde (H) ve periyodunda (T) bir dalga üretmek

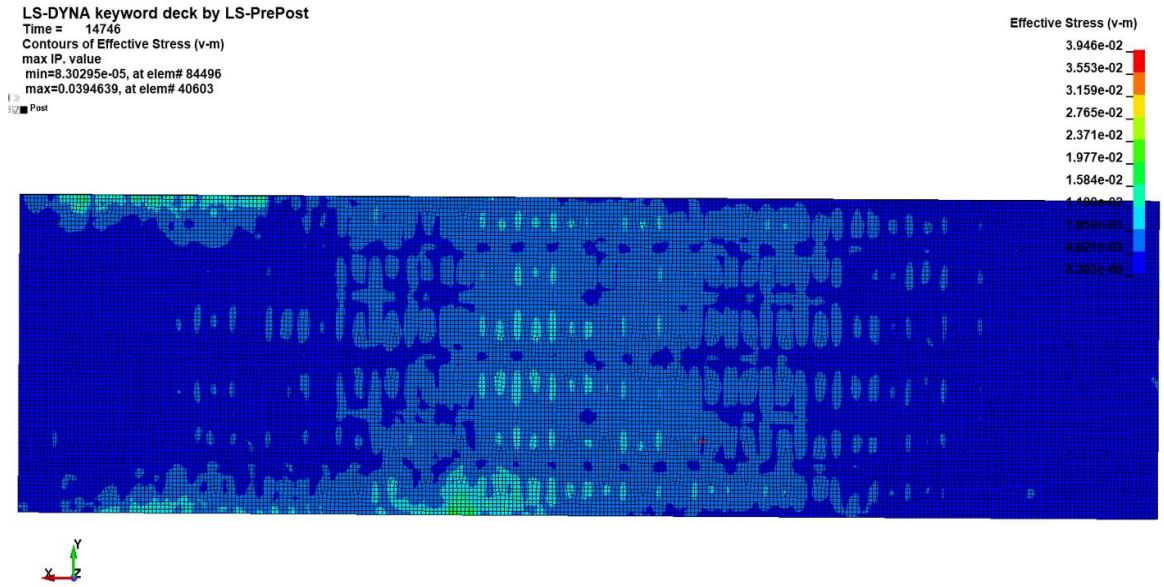
için dalga yapıcı plakanın ne kadar bir itiş mesafesine (strok) ve hangi periyoda sahip olması gerektiğini hesaplayan analitik formüllerdir. Bahse konu formül; su elemanının ve dalga yapıcı lagrange eleman arasındaki bağlantı parametreleri ayarlanıp sızdırmazlık sağlandıktan sonra, aralarındaki bağlantının sertlik derecesine ve mesh boyutlarına göre de doğrudan etkilenen sonuçlar ile birçok iteratif deneme analizleri neticesinde optimize edilmiştir.

$$F(x) = -571 \text{ X } (1 - \cos(0.001371 \text{ time})) \qquad (1)$$

Denklemin başında yer alan 571 sayısı, pistonun toplam hareket mesafesini (strok) ifade eder ve hedef dalga yüksekliğine (H) ulaşılmasını sağlar. Negatif işaret, pistonun başlangıçtaki hareket yönünü tanımlamaktadır. Açısal frekans bileşeni (0,001371); kosinüs fonksiyonu içerisinde yer alan bu katsayı, dalganın açısal frekansıyla (w) doğrudan ilişkilidir. Milisaniye (ms) birim sisteminde çalışan analizde, dalga periyodunun (T) zamansal çevrimini kontrol ederek pistonun salınım hızı belirlenir. Bu transfer fonksiyonu sayesinde, Ls-Dyna zaman alanında üretilen dalgaların AQWA'da kullanılan potansiyel akış teorisi tabanlı düzenli dalgalarla genlik ve frekans bazında tam uyumlu olması amaçlanmıştır.

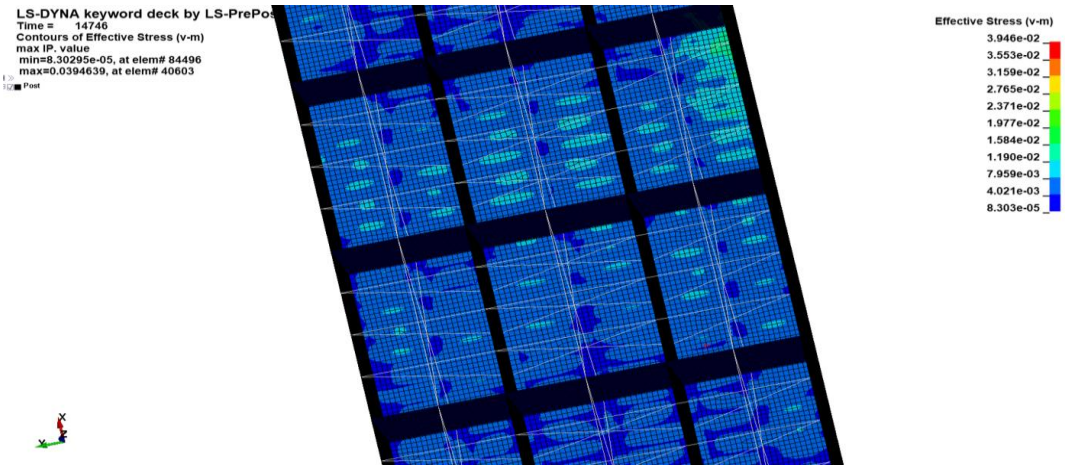
İki yöntemin sonuçlarını kıyaslamak amacıyla bahse konu eş düzenli baş dalgaları ile Ls-Dyna programı ile yapılan analizlerde dalga tepesi (baş-kıç çökmesi) anındaki etkileşimler incelenmiştir.

Analizin doğruluğunun tespiti maksadıyla öncelikle sızdırmazlık ve düzenli başınç dağılımı özelinde, daha sonra akışkan ALE ve ponton Lagrange elemanlarının mesh uyumluluğu özelinde farklı iteratif denemeler yapılarak kararlılık sağlanmış olup bu kararlı modeller içerisinden hesaplama maliyeti ve sonuçların hassasiyeti göz önünde bulundurularak ALE (500 mm) ve lagrange (100 mm) mesh boyutları tespit edilmiştir. Bu süreçte kısa analizler ile yapılmaya çalışılsa da zaman alanında açık (explicit) çözücülerin gerektirdiği yüksek hesaplama yükü ve çok küçük zaman adımları olması nedeniyle parametrelerin optimizasyonu zaman açısından çok maliyetlidir. Ancak bu iteratif yaklaşım ile uzun süreli ana analizlerde meydana gelebilecek sayısal gürültülerin ve enerji dengesizliklerinin önüne geçilmesini sağlanmıştır. Bu kapsamda; iki yönlü eşleme yöntemi ile elde edilen dalga tepesi konumunda yüzer pontonun maruz kaldığı gerilme bileşenlerinin bir bileşkesi olan Von-Mises değerleri Görsel 13'te gösterilmiştir.



Görsel 13. Dalga Tepesi Durumunda Ponton Üzerinde Oluşan Von-Mises Dağılımı

Ansys AQWA'daki yarı-statik yaklaşımın aksine, Ls-Dyna ile gerçekleştirilen iki yönlü eşleme (two-way coupling) yöntemi, yapının dinamik yükler altındaki anlık elastik deformasyonlarını ve dalga çarpması kaynaklı ani yüklenmeleri (slamming) eş zamanlı olarak hesaba katmaktadır. Bu yöntemde yapının esnemesi akışkan alanını, akışkanın dinamik hareketleri ise yapıyı sürekli olarak geri beslemekte ve veriler her zaman adımında güncellenmektedir. Dalga tepesi durumunda ponton üzerindeki gerilmelerin iç taraftan görünümü Görsel 14'te gösterilmiştir.



Görsel 14. Dalga Tepesi Durumunda Ponton Üzerinde Oluşan Von-Mises Dağılımı

Zaman alanında gerçekleştirilen bu analiz neticesinde, oluşan gerilmelerin beklendiği üzere dalga tepesinin (baş-kıç çökmesi durumu) pontonun orta kesitlerine ulaştığı anlarda, modelin alt yüzeyindeki orta bölgelerde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu yönteme özgü dinamik etkilerin de dahil olduğu senaryoda hesaplanan en şiddetli gerilme değeri 39,46 MPa olarak tespit edilmiştir.

4.3. Sonuçların Kıyaslanması

Bu çalışma kapsamında, analizlerin odak noktasını belirlemek amacıyla yalnızca dalga tepesi (baş-kıç çökmesi) anındaki etkileşimler incelenmiştir. Bu doğrultuda; tek yönlü eşleme ve iki yönlü eşleme yöntemleri ile elde edilen dalga tepesi konumunda yüzer pontonun maruz kaldığı gerilme bileşenlerinin bir bileşkesi olan Von-Mises değerleri kıyaslanmıştır.

Tek yönlü eşleme yöntemi ile elde edilen veriler doğrultusunda oluşan gerilmelerin beklendiği gibi dalga tepesinin ponton modelin orta kesitlerine denk gelmesi nedeniyle modelin alt yüzeyinde orta kesitlerde toplandığı gözlemlenmiştir. Bu durumdaki en şiddetli gerilmeler 41,86 MPa olarak hesaplanmış olup pontonun alt yüzeyinde bulunan, pontonu çerçeve gibi saran, enine ve boyuna L braketler ile enine ve boyuna perde elemanlarının birleşim noktalarında meydana gelmektedir. Gerilmelerin oluştuğu braket birleşim noktalarının etrafında ve pontonun alt yüzeyinde oluşan gerilmeler ise 8-25 MPa aralığında bir dağılım göstermektedir.

Ansys AQWA'daki yarı-statik yaklaşımın aksine, Ls-Dyna ile gerçekleştirilen iki yönlü eşleme (two-way coupling) yöntemi ile elde edilen veriler doğrultusunda oluşan gerilmelerin beklendiği üzere dalga tepesinin (baş-kıç çökmesi durumu) pontonun orta kesitlerine ulaştığı anlarda, modelin alt yüzeyindeki orta bölgelerde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu yönteme özgü dinamik etkilerin de dahil olduğu senaryoda hesaplanan en şiddetli gerilme değeri 39,46 MPa olarak tespit edilmiştir. Söz konusu kritik gerilmeler; pontonun alt yüzeyinde bir çerçeve yapısı oluşturan enine ve boyuna L-braketlerin, enine ve boyuna perde elemanları ile kesiştiği birleşim noktalarında meydana gelmektedir. Bu yüksek gerilme bölgelerinin çevresinde ve pontonun alt sacında oluşan gerilmeler; 10-28 MPa aralığında bir dağılım göstermektedir. Bu yöntem yapının dinamik yükler altındaki anlık elastik deformasyonlarını ve dalga çarpması kaynaklı ani yüklenmeleri (slamming) eş zamanlı olarak hesaba katmaktadır. Bu yöntemde yapının esnemesi akışkan alanını, akışkanın dinamik hareketleri ise yapıyı sürekli olarak geri beslemekte ve veriler her zaman adımında güncellenmektedir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Ls-Dyna ve Ansys AQWA sonlu elemanlar simülasyonları kullanılarak bir ponton yüzer yapı ile düzenli baş dalgaları arasındaki akışkan-yapı etkileşimi (FSI) modellenerek hidroelastik tepkiler incelenmiştir. Farklı metot kullanan bu iki yazılımın hidroelastik tepkileri analiz etme yetenekleri, metotların verimlilikleri karşılaştırılmış ve tartışılmıştır. Kurulan akışkan-yapı etkileşiminde (FSI) düzenli baş dalgaları incelenmiştir. İlk modelleme sürecinde potansiyel akış teorisini kullanan bir frekans alan çözücüsü olan Ansys AQWA kullanılmıştır. Burada Ansys AQWA ve Ansys Static Structural programlarının beraber kullanımı ile tek yönlü eşleme (one way coupling) yöntemi incelenmiştir. İkinci modelleme sürecinde açık zaman entegrasyonu kullanan bir geçici dinamik çözücü olan Ls-Dyna kullanılmıştır. Burada çok küçük zaman adımında hesaplama maliyeti yüksek olan iki yönlü eşleme (two way coupling) yöntemi incelenmiştir.

Yapılan karşılaştırmalı analizler neticesinde, dalga tepesi etkileşimi (baş-kıç çökmesi durumu) özelinde her iki yazılımdan elde edilen Von-Mises gerilmelerinin birbirine yakın ve tutarlı değerler sergilediği görülmüştür. Ancak Ls-Dyna ile gerçekleştirilen iki yönlü eşleme (two-way coupling) yöntemi, Ansys AQWA'nın ihmal ettiği anlık elastik deformasyonları ve dalga ile ilk karşılaşma esnasındaki ani dinamik yüklenmeleri (slamming gibi) de hesaba katmaktadır. Bu

doğrultuda, Ls-Dyna modelinde dalga çarpması etkisiyle yerel bölgelerde 80 MPa seviyelerine ulaşan maksimum Von-Mises değerleri kaydedilmiştir.

Sayısal dalga üretimi açısından Ls-Dyna, viskoz etkileri ve doğrusal olmayan akış karakteristiklerini içermesi sebebiyle daha gerçekçi bir fiziksel ortam sunmaktadır; nitekim oluşturulan dalganın pontonun kıç tarafına doğru ilerledikçe sönümleme etkisiyle genliğinin azalması bu gerçekçiliği desteklemektedir. Öte yandan Ansys AQWA, akışkan viskozitesini ihmal eden ve dalga yapısını daha doğrusal (lineer) kabul eden yapısı nedeniyle, yapı üzerinde daha derli toplu ve düzenli bir Von-Mises dağılımı sunmaktadır.

Bu çalışmanın ulaştığı sonuçlar, hidroelastik yüklerin tahmin edilmesinde tasarım sürecinin farklı aşamalarında kullanılabilecek metodolojik kılavuzlar sunmaktadır. Farklı yöntemleri kullanan akışkan-esnek yapı etkileşim modelleri; dalga kaynaklı yüklerin tahmin edilmesinde tasarım sürecinin farklı aşamalarında, yani sırasıyla ön tasarım için AQWA gibi BEM tabanlı ve hızlı çözümler müteakiben detaylı tasarım aşamalarında Ls-Dyna gibi dinamik çözücü tabanlı ve yüksek maliyetli, hassas çözümler kullanılabilir. Çalışma, gemi tasarım aşamasında iken ihtiyaca yönelik kullanılacak doğru yöntemin/programın seçilmesi ile mukavemet hesaplarının daha güvenilir ve etkin bir şekilde yapılabilmesi için önemli bir literatür katkısı sunmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Bishop, R. E. D., Price, W. G., Hydroelasticity of Ships, Ocean Engineering, 1979.
2. Hirdaris, S. E., Introduction to Hydroelasticity of Ships, Lloyd's Register, 8, 2004.
3. Inglis, C.E., Natural Frequencies and Modes of Vibration in Beams of Non-Uniform Mass and Section, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, 145-166, 1929.
4. Heller, S.R., Ambramson, H.N., Hydroelasticity - A New Naval Science, Journal of the American Society of Naval Engineers, 205-209, 1959.
5. Bishop, R.E.D., Price, W.G., Tam, P.K.Y., On the Dynamics of Slamming, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, 259-280, 1980.
6. Zienkiewicz, O.C., Bettess, P., Fluid Structure Interaction, Symposium of Ocean Structures Dynamics, Oregon State University, USA, 1982.
7. Bishop, R.E.D., Clarke, J.D., Price, W.G., Comparison of Full Scale and Predicted Responses of Two Frigates in Severe Weather Trial, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, 123-166, 1984.
8. Belik, O., Bishop, R.E.D., Price, W.G., Comparison of Slamming Theories in the Time Simulation of Ship Responses in Irregular Waves, International Shipbuilding Progress, 173-187, 1982.
9. Wu, M.K., Moan, T., Linear and Non-Linear Hydroelastic Analysis of High Speed Vessels, Journal of Ship Research, 149-163, 1996.
10. Ge, C., Faltinsen, O.M., Moan T., Global Hydroelastic Response of Catamarans Due to Wet-Deck Slamming, Journal of Ship Research, 2005.

11. Bishop, R. E. D., Price, W. G., Wu, Y., A General Linear Hydroelasticity Theory of Floating Structures Moving in a Seaway, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, 375-426, 1986.

12. Lundgren, J., Price, W. G., Wu, Y., A Hydroelastic Investigation into the Behaviour of a Floating Dry Dock in Waves, Royal Institution of Naval Architects Transactions, 213–231, 1989.

13. Aksu, S., Price, W. G., Temarel, P., A Comparison of Two-Dimensional and Three-Dimensional Hydroelasticity Theories Including the Effect of Slamming, Mechanical Engineering Science, 3-15, 1991.

14. A. Ergin, W. G. Price, R. Randall, P. Temarel, Dynamic Characteristics of a Submerged, Flexible Cylinder Vibrating in Finite Water Depths, Journal of Ship Research, 154–167, 1992.

15. Aksu, S., Price, W. G., Suhrbier, K. R., Temarel, P. A Comparative Study of the Dynamic Behaviour of a Fast Patrol Boat Travelling in Rough Seas, Marine Structures, 421-441, 1993.

16. W.G. Price, P. Temarel, A. J. Keane, Hydroelastic Analysis of a SWATH in Waves, Hydro-elasticity in Marine Technology, 231-243, 1994.

17. Aksu, S., Price, W. G., Temarel, P., A Three-Dimensional Theory of Ship Slamming in Irregular Oblique Seaways, British Maritime Technology, 208, 1991.

18. Louarn, F., Temarel, P., An Investigation of the Structural Dynamics of a Racing Yacht, SNAME Chesapeake Sailing Yacht Symposium, 1999.

19. Bingham, A. E., Hampshire, J. K., Miao, S. H., Temarel, P., Motions and Loads for a Trimaran Travelling in Regular Waves, The Royal Institution of Naval Architects, 167-176, 2001.

20. Hirdaris, S. E., Price, W. G., Temarel, P., Two-and Three-Dimensional Hydroelastic Modelling of a Bulker in Regular Waves, Marine Structures, 627-658, 2003.

21. Finnegana W., Goggins J., Numerical Simulation of Linear Water Waves and Wave–Structure Interaction, Ocean Engineering, 23–31, 2012.

22. Moctar O., Ley J., Oberhagemann J., Schellin T., Nonlinear Computational Methods for Hydroelastic Effects of Ships in Extreme Seas, Ocean Engineering, 659-673, 2017.

23. Jiao J., Huang S., Tezdogan T., Terziev M., Soares C. G., Slamming and Green Water Loads on a Ship Sailing in Regular Waves Predicted by a Coupled CFD–FEA Approach, Ocean Engineering, Vol. 241, 2021.

24. Rajendran S., Soares C. G., Numerical Investigation of the Vertical Response of a Containership in Large Amplitude Waves, Ocean Engineering, 440-451, 2016.

25. Jiao J., Chen Z., Ma B., Chang X., Insights into the Scale Effects on Ship Motions and Wave Loads Considering Hydroelasticity, Marine Structures, Vol. 98, 2024.

26. https://ansyshelp.ansys.com/public/account/aqwa_thy.html
(Erişim tarihi: 21.12.2025)

27. https://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/web/ls-dyna_manuals/R14.html
(Erişim tarihi: 21.12.2025)

ÖSTROJEN HORMONLARI VE PRENATAL TARAMA TESTLERİNDE KULLANIMLARI

Dr.Öğr.Üyesi Demet ÇAKIR
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
demet.cakir@gop.edu.tr, 0000-0003-4794-516X
Öğr.Gör. Arslan SAY
Amasya Üniversitesi
arslan.say@amasya.edu.tr, 0000-0001-5454-3105
Dr.Öğr.Üyesi Emine AKSÜT AKÇAY
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
bau_sirinim@hotmail.com-0000-0002-2056-4597

ÖZET

Östrojenler, steroid yapılı hormonlar olup kadın üreme fizyolojisinde ve gebeliğin sürdürülmesinde kritik rol oynarlar. Başlıca östrojen çeşitleri estron (E1), estradiol (E2), estriol (E3) ve estetrol (E4) olarak sınıflandırılır. Estradiol (E2), üreme çağındaki kadınlarda baskın ve biyolojik olarak en aktif östrojen türüdür. Estron (E1) daha zayıf etkiye sahip olup özellikle menopoz sonrası dönemde ön plana çıkar. Estriol (E3) ise esas olarak gebelikte sentezlenen bir östrojen olup, fetoplasental ünitenin fonksiyonunu yansıtan önemli bir biyobelirteçtir. Estetrol (E4) daha yeni tanımlanmış bir östrojen türü olup yalnızca fetal karaciğerde üretilir ve gebelik fizyolojisinde özgün bir yere sahiptir.

Prenatal tarama testlerinde östrojenlerin, özellikle de konjuge olmayan estriolün (uE3), önemli bir klinik kullanımı bulunmaktadır. İkinci trimesterde uygulanan üçlü ve dörtlü tarama testlerinde uE3, alfa-fetoprotein (AFP) ve insan koryonik gonadotropini (hCG) ile birlikte ölçülerek kromozomal anomalilerin risk değerlendirmesinde kullanılır. Düşük uE3 düzeyleri, özellikle Trizomi 21 (Down sendromu) ve Trizomi 18 gibi kromozomal bozukluklarla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca estriol düzeyleri, plasental fonksiyon ve fetal adrenal bez aktivitesi hakkında dolaylı bilgi sağlayarak intrauterin gelişme geriliği ve bazı endokrin bozuklukların değerlendirilmesine katkı sunar.

Sonuç olarak, östrojen çeşitleri yalnızca gebelik fizyolojisinin anlaşılmasında değil, aynı zamanda prenatal tarama testlerinde fetal sağlığın değerlendirilmesinde de önemli biyokimyasal göstergeler olarak klinik değer taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Östrojen, hormon, prenatal test

ESTROGEN HORMONES AND THEIR USES IN PRENATAL SCREENING TESTS

Assi. Prof., Demet ÇAKIR
Tokat Gaziosmanpaşa University
demet.cakir@gop.edu.tr, 0000-0003-4794-516X
Lecturer, Arslan SAY
Amasya University
arslan.say@amasya.edu.tr - 0000-0001-5454-3105
Assi. Prof., Emine AKSÜT AKÇAY
Kahramanmaraş Sütçü İmam University
bau_sirinim@hotmail.com - 0000-0002-2056-4597

ABSTRACT

Estrogens are steroid hormones that play a critical role in female reproductive physiology and pregnancy maintenance. The main types of estrogens are classified as estrone (E1), estradiol (E2), estriol (E3), and estetrol (E4). Estradiol (E2) is the dominant and most biologically active type of estrogen in women of reproductive age. Estrone (E1) has a weaker effect and is particularly prominent in the postmenopausal period. Estriol (E3) is an estrogen synthesized primarily during pregnancy and is an important biomarker reflecting the function of the fetoplacental unit. Estertrol (E4) is a more recently identified type of estrogen, produced only in the fetal liver, and has a unique role in pregnancy physiology.

Estrogens, especially unconjugated estriol (uE3), have significant clinical use in prenatal screening tests. In triple and quadruple screening tests performed in the second trimester, uE3 is measured along with alpha-fetoprotein (AFP) and human chorionic gonadotropin (hCG) to assess the risk of chromosomal abnormalities. Low uE3 levels have been associated with chromosomal disorders, particularly Trisomy 21 (Down syndrome) and Trisomy 18. Furthermore, estriol levels provide indirect information about placental function and fetal adrenal gland activity, contributing to the assessment of intrauterine growth restriction and certain endocrine disorders.

In conclusion, estrogen types have clinical value not only in understanding pregnancy physiology but also as important biochemical indicators in assessing fetal health in prenatal screening tests.

Keywords: Estrogen, hormone, prenatal test

1. GİRİŞ

Gebelik süreci, anne ve fetüs sağlığının yakından izlendiği, karmaşık hormonal ve fizyolojik değişimlerin yaşandığı bir dönemdir. Bu süreçte prenatal tarama testleri, fetal anomalilerin erken dönemde saptanması açısından büyük önem taşımaktadır. Prenatal tarama testlerinde kullanılan biyokimyasal belirteçler arasında östrojen hormonları, özellikle estriol (uE3) önemli bir yer tutmaktadır (Cunningham ve ark., 2022).

Östrojenler, gebelik boyunca fetoplasental ünitenin fonksiyonunu yansıtan hormonlar olup, düzeylerindeki değişiklikler fetal gelişim, plasental fonksiyon ve kromozomal anomaliler hakkında değerli bilgiler sunmaktadır (Griffin & Ojeda, 2019). Bu nedenle östrojen hormonları, özellikle ikinci trimester tarama testlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu derlemenin amacı, östrojen hormonlarının fizyolojisini açıklamak ve prenatal tarama testlerindeki rollerini güncel literatür doğrultusunda incelemektir.

2. ÖSTROJEN HORMONLARININ TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Östrojenler, steroid yapılı, başlıca kadın cinsiyet hormonları arasında yer alan ve üreme sisteminin gelişimi ile fonksiyonlarında temel rol oynayan hormonlardır. İnsanlarda başlıca üç doğal östrojen bulunmaktadır:

- Estradiol (E2)
- Estron (E1)
- Estriol (E3)

Gebelik sürecinde baskın östrojen hormonu estriol (E3) olup, fetüs ve plasenta iş birliğiyle sentezlenmektedir (Guyton & Hall, 2021). Estriol, fetüsün adrenal bezlerinden salınan prekürsörlerin plasentada metabolize edilmesiyle oluşur ve bu özelliği nedeniyle fetoplasental ünitenin fonksiyonel bütünlüğünü yansıtan bir belirteç olarak kabul edilmektedir.

2.1.Gebelikte Östrojen Fizyolojisi

Gebelik boyunca östrojen düzeyleri progresif olarak artış göstermektedir. Bu artışın temel kaynağı fetoplasental ünitedir. Fetüsün adrenal bezlerinde sentezlenen dehidroepiandrosteron sülfat (DHEA-S), plasentada aromatizasyon yoluyla estriole dönüştürülmektedir (Tulchinsky & Little, 1994).

Östrojenlerin gebelikteki başlıca fizyolojik etkileri şunlardır:

- Uterus büyümesi ve uteroplasental kan akımının artırılması
- Meme dokusunun gelişimi
- Myometriyumun oksitosine duyarlılığının artırılması
- Servikal olgunlaşmanın desteklenmesi

Bu etkiler, östrojenlerin gebeliğin sürdürülmesi ve doğuma hazırlanmadaki kritik rollerini ortaya koymaktadır (Cunningham ve ark., 2022).

2.2.Prenatal Tarama Testlerine Genel Bakış

Prenatal tarama testleri, gebelik sırasında fetal kromozomal anomalilerin riskini belirlemek amacıyla yapılan non-invaziv testlerdir. Bu testler kesin tanı koymaz; ancak risk değerlendirmesi yaparak invaziv tanı testlerine (amniyosentez, CVS) yönlendirme sağlar (ACOG, 2020).

Prenatal tarama testleri temel olarak:

- Birinci trimester tarama testleri
- İkinci trimester tarama testleri
- Kombine tarama testleri

şeklinde sınıflandırılmaktadır.

2.3.Östrojenlerin Prenatal Tarama Testlerindeki Yeri

2.3.1. İkinci Trimester Tarama Testleri

Östrojen hormonlarının prenatal taramada en yaygın kullanımı, ikinci trimester tarama testleri kapsamındadır. Bu testler genellikle gebeliğin 15–20. haftaları arasında uygulanmaktadır.

2.3.2. Üçlü Tarama Testi

Üçlü tarama testi şu biyokimyasal belirteçleri içerir:

- Alfa-fetoprotein (AFP)
- İnsan koryonik gonadotropini (hCG)
- Unkonjuge estriol (uE3)

Unkonjuge estriol düzeyleri, fetoplasental ünitenin sağlığını yansıtan önemli bir parametredir. Down sendromu (Trizomi 21) olgularında uE3 düzeylerinin genellikle düşük olduğu bildirilmektedir (Wald ve ark., 2003).

2.3.3. Dörtlü Tarama Testi

Dörtlü tarama testinde üçlü teste ek olarak:

- İnhibin A

ölçülmektedir. Bu test, kromozomal anomalilerin saptanmasında daha yüksek duyarlılığa sahiptir. uE3 düzeyleri, özellikle Trizomi 18 ve Trizomi 21 için önemli bir belirteçtir (Norton ve ark., 2017).

2.4.Östrojen Düzeylerindeki Anormalliklerin Klinik Önemi

Prenatal tarama testlerinde ölçülen estriol düzeylerindeki anormallikler, çeşitli fetal ve plasental patolojilerle ilişkilidir:

- Düşük uE3 düzeyleri
  - Down sendromu
  - Trizomi 18
  - Fetal adrenal yetmezlik
  - Plasental disfonksiyon
- Yüksek uE3 düzeyleri
  - Çoğul gebelik
  - Yanlış gebelik haftası hesaplaması

Özellikle belirgin derecede düşük estriol düzeyleri, Smith-Lemli-Opitz sendromu gibi nadir metabolik hastalıkların göstergesi olabilmektedir (Chitty, 1998).

2.5.Östrojenlerin Prenatal Tarama Testlerindeki Sınırlılıkları

Her ne kadar östrojenler prenatal taramada değerli biyobelirteçler olsa da bazı sınırlılıkları bulunmaktadır:

- Maternal yaş, kilo ve etnik kökenin hormon düzeylerini etkilemesi
- Gebelik haftasının yanlış hesaplanması
- Tek başına tanı koydurucu olmaması

Bu nedenle östrojen düzeyleri, her zaman diğer biyokimyasal belirteçler ve ultrason bulguları ile birlikte değerlendirilmelidir (ACOG, 2020).

2.6.Güncel Yaklaşımlar ve Gelecek Perspektifi

Son yıllarda non-invaziv prenatal testler (NIPT), fetal DNA analizi ile yüksek doğruluk oranları sunmaktadır. Ancak biyokimyasal tarama testleri, maliyet etkinliği ve erişilebilirliği nedeniyle halen yaygın olarak kullanılmaktadır (Bianchi & Wilkins-Haug, 2014).

Östrojen hormonları, özellikle düşük kaynaklı ülkelerde prenatal taramanın temel bileşenlerinden biri olmaya devam etmektedir.

3. SONUÇ

Östrojen hormonları, özellikle estriol, prenatal tarama testlerinde fetoplasental ünitenin fonksiyonunu yansıtan önemli biyokimyasal belirteçlerdir. İkinci trimester tarama testlerinde

kromozomal anomalilerin risk değerlendirmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Prenatal tarama testlerinin doğru yorumlanabilmesi için östrojen düzeylerinin klinik ve demografik faktörlerle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

4. KAYNAKÇA

American College of Obstetricians and Gynecologists, & Society for Maternal-Fetal Medicine. (2020). Screening for fetal chromosomal abnormalities: ACOG practice bulletin, number 226. Obstetrics & Gynecology, 136(4), e48-e69.

Chitty, L. (1998). Prenatal screening for chromosome abnormalities. British medical bulletin, 54(4), 839-856.

Bianchi, D. W., & Wilkins-Haug, L. (2014). Integration of noninvasive DNA testing for aneuploidy into prenatal care: what has happened since the rubber met the road?. Clinical chemistry, 60(1), 78-87.

Cunningham, F. G., Leveno, K. J., Bloom, S. L., Spong, C. Y., & Dashe, J. S. (2022). *Williams Obstetrics* (26th ed.). McGraw-Hill.

Griffin, J. E., & Ojeda, S. R. (2019). *Textbook of endocrine physiology* (7th ed.). Oxford University Press.

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Textbook of medical physiology* (14th ed.). Elsevier.

Norton, M. E., Biggio, J. R., Kuller, J. A., Blackwell, S. C., & Society for Maternal-Fetal Medicine (SMFM. (2017). The role of ultrasound in women who undergo cell-free DNA screening. American journal of obstetrics and gynecology, 216(3), B2-B7.

Tulchinsky, D., & Little, A. B. (1994). *Endocrinology of pregnancy*. WB Saunders.

Wald, N. J., Hackshaw, A. K., Walters, J., Mackinson, A. M., Rodeck, C., & Chitty, L. (2003). First and second trimester antenatal screening for Down's syndrome: the results of the Serum, Urine and Ultrasound Screening Study (SURUSS). Journal of medical screening, 10(2), 56-104.

İNFERTİLİTEDE GÖRÜNMEYEN YÜK: DAMGALANMA VE PSİKOSOSYAL SONUÇLARI

Dr.Öğr.Üyesi Demet ÇAKIR
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
demet.cakir@gop.edu.tr, 0000-0003-4794-516X
Dr.Öğr.Üyesi Emine AKSÜT AKÇAY
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
bau_sirinim@hotmail.com-0000-0002-2056-4597
Öğr.Gör. Arslan SAY
Amasya Üniversitesi
arslan.say@amasya.edu.tr, 0000-0001-5454-3105

ÖZET

İnfertilite, üreme kapasitesinin kaybı ya da sınırlanması ile tanımlanan tıbbi bir durum olmakla birlikte, bireylerin psikolojik, sosyal ve kültürel yaşamlarını derinden etkileyen çok boyutlu bir olgudur. Özellikle çocuk sahibi olmanın evlilik ve yetişkinlik kimliğinin temel bir bileşeni olarak görüldüğü toplumlarda infertil bireyler, yoğun bir biçimde damgalanmaya maruz kalabilmektedir. Damgalanma; bireyin toplum tarafından etiketlenmesi, küçümsenmesi, dışlanması ya da suçlanması gibi süreçleri kapsamakta ve infertil bireylerin benlik algısını, ruh sağlığını ve sosyal ilişkilerini olumsuz yönde etkilemektedir. Literatürde infertiliteye bağlı damgalanmanın, depresyon, anksiyete, düşük benlik saygısı ve evlilik doyumunda azalma gibi psikososyal sorunlarla ilişkili olduğu bildirilmektedir.

Toplumsal cinsiyet rolleri, infertiliteye yönelik damgalanmanın şekillenmesinde önemli bir belirleyicidir. Çalışmalar, infertilitenin çoğu zaman kadınlara atfedildiğini ve kadınların annelik rolünü yerine getirememeleri nedeniyle daha yoğun bir sosyal baskı ve suçlama ile karşılaştığını göstermektedir. Erkek infertilitesi ise erkeklik algısına tehdit olarak görülmekte, bu nedenle sıklıkla gizlenmekte ve konuşulmaktan kaçınılmaktadır. Bu durum, erkeklerin psikolojik destek ve sağlık hizmetlerine başvurma davranışlarını sınırlayarak damgalanmayı içselleştirmelerine yol açabilmektedir.

Damgalanma yalnızca toplumsal düzeyde değil, bireyin kendi iç dünyasında da etkisini göstermektedir. İçselleştirilmiş damgalanma, infertil bireylerin kendilerini yetersiz, eksik ya da başarısız hissetmelerine neden olmakta; bu da tedavi süreçlerine uyumu ve yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Sonuç olarak, infertil bireylerde damgalanma, biyolojik, psikolojik ve sosyokültürel boyutları olan karmaşık bir sorundur. Bu nedenle infertiliteye yönelik yaklaşımların yalnızca tıbbi tedavi ile sınırlı kalmaması; psikososyal danışmanlık hizmetleri, toplumsal farkındalık çalışmaları ve sağlık profesyonellerinin damgalayıcı tutumları önlemeye yönelik eğitimleri içermesi

gerekmektedir. Damgalanmayı azaltmaya yönelik bütüncül müdahaleler, infertil bireylerin ruhsal iyilik halini ve yaşam kalitesini artırmada kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: İnfertilite, damgalanma, psikososyal, etki

THE INVISIBLE BURDEN OF INFERTILITY: STIGMATIZATION AND PSYCHOSOCIAL CONSEQUENCES

Assi. Prof., Demet ÇAKIR
Tokat Gaziosmanpaşa University
demet.cakir@gop.edu.tr, 0000-0003-4794-516X
Assi. Prof., Emine AKSÜT AKÇAY
Kahramanmaraş Sütçü İmam University
bau_sirinim@hotmail.com - 0000-0002-2056-4597
Lecturer, Arslan SAY
Amasya University
arslan.say@amasya.edu.tr - 0000-0001-5454-3105

ABSTRACT

Infertility, while a medical condition defined by the loss or limitation of reproductive capacity, is a multifaceted phenomenon that profoundly affects the psychological, social, and cultural lives of individuals. Particularly in societies where having children is seen as a fundamental component of marriage and adult identity, infertile individuals may be subjected to intense stigma. Stigma encompasses processes such as labeling, belittling, exclusion, or blaming by society, negatively impacting the self-perception, mental health, and social relationships of infertile individuals. Literature reports that stigma related to infertility is associated with psychosocial problems such as depression, anxiety, low self-esteem, and decreased marital satisfaction.

Gender roles are a significant determinant in shaping stigma towards infertility. Studies show that infertility is often attributed to women, who face more intense social pressure and blame due to their perceived inability to fulfill their maternal role. Male infertility, on the other hand, is seen as a threat to the perception of masculinity, and is therefore frequently concealed and avoided in discussions. This situation can lead to men internalizing stigma by limiting their ability to seek psychological support and healthcare services.

Stigma has an impact not only at the societal level but also within the individual's inner world. Internalized stigma causes infertile individuals to feel inadequate, deficient, or unsuccessful; this negatively affects their adherence to treatment processes and quality of life.

In conclusion, stigma in infertile individuals is a complex problem with biological, psychological, and sociocultural dimensions. Therefore, approaches to infertility should not be limited to medical treatment alone; they should include psychosocial counseling services, social awareness campaigns, and training for healthcare professionals to prevent stigmatizing attitudes. Holistic interventions aimed at reducing stigma are critical in improving the mental well-being and quality of life of infertile individuals.

Keywords: Infertility, stigma, psychosocial, impact

1. GİRİŞ

İnfertilite, üreme çağındaki çiftlerin en az bir yıl süreyle düzenli ve korunmasız cinsel ilişkiye rağmen gebelik elde edememesi durumu olarak tanımlanmaktadır (World Health Organization [WHO], 2021). Dünya genelinde infertilite prevalansının %10–15 arasında olduğu bildirilmekte olup, bu durum yalnızca biyolojik bir sağlık sorunu değil, aynı zamanda bireylerin ruhsal, sosyal ve kültürel yaşamlarını derinden etkileyen çok boyutlu bir olgudur (Boivin ve ark., 2007).

İnfertilite deneyimi, özellikle geleneksel toplumlarda güçlü pronatalist değerlerin etkisiyle bireylerde yoğun bir damgalanma (stigma) algısına yol açabilmektedir. Çocuk sahibi olmanın evliliğin temel bir amacı olarak görüldüğü kültürlerde infertilite, bireylerin kimlik algısını, benlik saygısını ve toplumsal rollerini tehdit eden bir durum haline gelmektedir (Greil, 1997). Bu bağlamda infertilite, "görünmeyen" ancak etkisi oldukça ağır olan bir psikososyal yük oluşturmaktadır.

Bu derlemenin amacı, infertilitede damgalanma kavramını ele almak ve infertilitenin bireyler üzerindeki psikososyal sonuçlarını güncel literatür ışığında incelemektir.

2. İNFERTİLİTE VE DAMGALANMA KAVRAMI

Damgalanma, bireyin toplum tarafından olumsuz bir özelliğe indirgenerek etiketlenmesi, dışlanması ya da değersizleştirilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Goffman, 2009). İnfertilite bağlamında damgalanma, çoğunlukla çocuk sahibi olamamanın "eksiklik", "başarısızlık" veya "kusur" olarak algılanmasıyla ortaya çıkmaktadır.

İnfertiliteye bağlı damgalanma hem içselleştirilmiş hem de toplumsal düzeyde görülebilmektedir. İçselleştirilmiş damgalanma, bireyin toplumun olumsuz yargılarını benimseyerek kendisini değersiz hissetmesiyle ilişkilidir. Toplumsal damgalanma ise çevrenin doğrudan veya dolaylı tutumları, suçlayıcı söylemleri ve ayrımcı davranışlarıyla kendini göstermektedir (Link & Phelan, 2001).

Özellikle kadınlar, infertilite durumunda erkeklere kıyasla daha yoğun damgalanma yaşamaktadır. Bunun temel nedeni, üreme sorumluluğunun kültürel olarak kadına atfedilmesi ve anneliğin kadın kimliğinin merkezi bir bileşeni olarak görülmesidir (Dyer ve ark., 2002).

2.1.İnfertilitenin Psikolojik Sonuçları

2.1.1. Depresyon ve Anksiyete

İnfertilite tanısı alan bireylerde depresyon ve anksiyete düzeylerinin genel popülasyona göre daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Özellikle uzun süreli ve başarısız tedavi süreçleri, bireylerde umutsuzluk, çaresizlik ve kontrol kaybı duygularını artırmaktadır (Greil ve ark., 2010).

Yapılan çalışmalarda infertil kadınların %40–60'ında klinik düzeyde depresif belirtiler saptanmıştır (Domar ve ark., 1992). Anksiyete ise tedavi sürecindeki belirsizlik, toplumsal baskılar ve geleceğe dair kaygılarla ilişkilidir.

2.1.2. Benlik Saygısı ve Kimlik Algısı

İnfertilite, bireyin kendilik algısını olumsuz yönde etkileyerek benlik saygısında düşüşe yol açabilmektedir. Kadınlar için annelik, erkekler için ise babalık rolünün yerine getirilememesi, bireylerin "yetersiz" hissetmesine neden olabilmektedir (Sandelowski, 1993).

Bu durum, özellikle içselleştirilmiş damgalanmanın yoğun olduğu bireylerde daha belirgin görülmekte ve psikolojik dayanıklılığı zayıflatmaktadır.

2.2.Sosyal Sonuçlar ve İlişkisel Etkiler

2.2.1. Evlilik ve Çift İlişkileri

İnfertilite, çift ilişkilerinde önemli bir stres kaynağıdır. Tedavi süreci, cinselliğin mekanikleşmesi, ekonomik yük ve suçluluk duyguları, evlilik doyumunu olumsuz etkileyebilmektedir (Peterson ve ark., 2007).

Bazı kültürlerde infertilite, boşanma veya çok eşlilik gibi sonuçlara dahi yol açabilmektedir. Özellikle kadının sorumlu tutulduğu durumlarda evlilik içi çatışmalar ve duygusal uzaklaşma daha sık görülmektedir (Dyer & Patel, 2012).

2.2.2. Sosyal İzolasyon ve Yalnızlık

Damgalanma korkusu nedeniyle infertil bireyler, sosyal ortamlardan kaçınma eğilimi gösterebilmektedir. Bebek ziyaretleri, aile toplantıları ve özel günler, duygusal olarak tetikleyici olabilmektedir. Bu durum sosyal izolasyonu artırarak yalnızlık duygusunu derinleştirmektedir (Slade ve ark., 2007).

2.2.3. Kültürel ve Toplumsal Boyut

İnfertilitenin algılanışı kültürel bağlama göre farklılık göstermektedir. Pronatalist toplumlarda çocuk sahibi olmak sosyal kabulün temel bir göstergesi olarak görülmektedir. Bu nedenle infertil bireyler, toplumda "eksik" ya da "işlevsiz" olarak etiketlenebilmektedir (Inhorn, 2003).

Türkiye gibi geleneksel yapının hâlen etkili olduğu toplumlarda, infertiliteye yönelik damgalanma daha belirgin olup, özellikle kadınlar yoğun psikososyal baskıya maruz kalmaktadır (Kırca & Pasinlioğlu, 2013).

2.3.Sağlık Profesyonellerinin Rolü

İnfertilitenin yalnızca biyomedikal değil, aynı zamanda psikososyal bir sorun olduğunun kabul edilmesi büyük önem taşımaktadır. Sağlık profesyonellerinin empatik, yargılayıcı olmayan ve bütüncül bir yaklaşım benimsemesi, damgalanmanın azaltılmasında kilit rol oynamaktadır (Boivin ve ark., 2001).

Psikolojik danışmanlık, destek grupları ve psiko-eğitim programları, infertil bireylerin baş etme becerilerini güçlendirmekte ve ruhsal iyilik hallerini artırmaktadır.

3. SONUÇ

İnfertilite, bireylerin yaşamlarını çok boyutlu olarak etkileyen ve çoğu zaman görünmez kalan ciddi bir psikososyal yüktür. Damgalanma, infertil bireylerin ruhsal sağlıklarını, sosyal ilişkilerini ve yaşam kalitelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle infertiliteye yönelik müdahalelerin yalnızca tıbbi tedavi ile sınırlı kalmaması, psikososyal destek hizmetlerini de kapsaması gerekmektedir.

Toplumsal farkındalığın artırılması, kültürel önyargıların sorgulanması ve destekleyici sağlık politikalarının geliştirilmesi, infertilitede damgalanmanın azaltılmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

4. KAYNAKLAR

Boivin, J., Bunting, L., Collins, J. A., & Nygren, K. G. (2007). International estimates of infertility prevalence and treatment-seeking: potential need and demand for infertility medical care. Human reproduction, 22(6), 1506-1512.

Boivin, J., Scanlan, L. C., & Walker, S. M. (1999). Why are infertile patients not using psychosocial counselling?. Human Reproduction, 14(5), 1384-1391.

Domar, A. D., Broome, A., Zuttermeister, P. C., Seibel, M., & Friedman, R. (1992). The prevalence and predictability of depression in infertile women. Fertility and sterility, 58(6), 1158-1163.

Dyer, S. J., Abrahams, N., Hoffman, M., & van der Spuy, Z. M. (2002). Men leave me as I cannot have children': women's experiences with involuntary childlessness. Human reproduction, 17(6), 1663-1668.

Dyer, S. J., & Patel, M. (2012). The economic impact of infertility on women in developing countries-a systematic review. Facts, views & vision in ObGyn, 4(2), 102.

Goffman, E. (2009). Stigma: Notes on the management of spoiled identity. Simon and schuster.

Greil, A. L. (1997). Infertility and psychological distress: a critical review of the literature. Social science & medicine, 45(11), 1679-1704.

Greil, A. L., Slauson-Blevins, K., & McQuillan, J. (2010). The experience of infertility: a review of recent literature. Sociology of health & illness, 32(1), 140-162.

Inhorn, M. C. (2003). Global infertility and the globalization of new reproductive technologies: illustrations from Egypt. Social science & medicine, 56(9), 1837-1851.

Link, B. G., & Phelan, J. C. (2001). Conceptualizing stigma. Annual review of Sociology, 27(1), 363-385.

Peterson, B. D., Newton, C. R., & Feingold, T. (2007). Anxiety and sexual stress in men and women undergoing infertility treatment. Fertility and sterility, 88(4), 911-914.

Slade, P., O'Neill, C., Simpson, A. J., & Lashen, H. (2007). The relationship between perceived stigma, disclosure patterns, support and distress in new attendees at an infertility clinic. Human reproduction, 22(8), 2309-2317.

World Health Organization. (2021). WHO fact sheet on infertility. Global Reproductive Health, 6(1), e52.

Kirca, N., & Pasinlioglu, T. (2013). Infertilite Tedavisinde Karsilasilan Psikososyal Sorunlar/Psychosocial Problems during Infertility Treatment. Psikiyatride Guncel Yaklasimlar, 5(2), 162.

DİJİTAL TÜKENMİŞLİK: DİJİTALLEŞEN ÇALIŞMA YAŞAMINDA YENİ BİR MESLEKİ RİSK

DİGİTAL BURNOUT: A NEW OCCUPATİONAL RİSK İN THE DİGİTALİZİNG WORKPLACE

Uzm. Hem. Feyza ACAR

Muğla Eğitim ve Araştırma Hastanesi, AMATEM Polikliniği,

ORCID ID: https://orcid.org/0000 0003 3808 6260

afeyza.acar@gmail.com

Uzm. Hem. Güllü YAZKAN

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Psikiyatri Hemşireliği Anabilim Dalı, Muğla/Türkiye

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2860-1169

gulluyazkan@gmail.com

Prof.Dr. Nezihe BULUT UĞURLU

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Psikiyatri Hemşireliği Anabilim Dalı, Muğla/Türkiye

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7103-4625

nugurlu@mu.edu.tr

Doç.Dr. Fatma BİRGİLİ

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Hemşirelik Esasları Anabilim Dalı, Muğla /Türkiye.

ORCID ID: https://orcid.org/0000 -0003-0942-2122

fatmab@mu.edu.tr

ÖZET

Dijitalleşmenin gelişen teknoloji ile küreselleşmesi ve özellikle Covid-19 pandemisiyle yayılan uzaktan çalışma ve çevrim içi toplantı sistemleri bireylerin iş ve özel yaşam arasındaki sınırları silikleştirmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün yapmış olduğu Uluslararası İstatistiksel Hastalık Sınıflandırması ve İlgili Sağlık Sorunları (ICD)-11 sınıflandırmasında tükenmişliği yönetilemeyen kronik işyeri stresine bağlı bir mesleki olgu olarak tanımlaması, bu sürecin klinik ve mesleki boyutlarını yeniden gündeme taşımıştır. Klasik tükenmişlik kuramlarında vurgulanan duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve azalmış mesleki yeterlik algısı; dijital çağda, sürekli çevrim içi olma zorunluluğu, aşırı ekran maruziyeti ve bilgi yüklenmesi ile daha karmaşık bir yapı kazanmıştır. Pandemi sürecinde başlayan iş, eğitim ve sosyal yaşamın büyük

ölçüde dijital ortama taşınması, bireylerin ekran karşısında geçirdiği süreyi belirgin biçimde artırmış; bu durum bilişsel yorgunluk, dikkat dağınıklığı, uyku bozuklukları ve psikolojik tükenmişlik belirtilerinde artışla ilişkilendirilmiştir. Literatürde bu durum, klasik tükenmişlikten farklı olarak teknoloji temelli tetikleyicilerle şekillenen dijital tükenmişlik ya da dijital yorgunluk kavramlarıyla açıklanmaktadır. Dijital tükenmişlik; yalnızca iş yüküne değil, aynı zamanda sürekli erişilebilir olma baskısına, çoklu dijital platform kullanımına ve işten zihinsel olarak kopamama durumuna dayanmaktadır. Bu bildiri, dijital tükenmişliği ortaya çıkan bir halk sağlığı ve mesleki risk alanı olarak ele almakta; kavramın kuramsal temellerini, klasik tükenmişlikten ayrılan yönlerini ve pandemi sonrası çalışma modelleri bağlamındaki etkilerini tartışmaktadır. Ayrıca, dijital tükenmişliğin erken tanınmasının, çalışan ruh sağlığının korunması ve sürdürülebilir çalışma ortamlarının geliştirilmesi açısından taşıdığı öneme dikkat çekilmektedir. Özellikle sağlık çalışanları ve yoğun dijital maruziyet altında çalışan gruplar için önleyici yaklaşımların geliştirilmesi, dijital farkındalık ve sınır koyma becerilerinin desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijital tükenmişlik, tükenmişlik sendromu, dijitalleşme, uzaktan çalışma, ruh sağlığı

SUMMARY

The globalization of digitalization with advancing technology, and especially the remote work and online meeting systems that spread with the Covid-19 pandemic, have blurred the boundaries between individuals' work and private lives. The World Health Organization's International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD)-11 classification defines burnout as an occupational phenomenon associated with unmanageable chronic workplace stress, bringing the clinical and occupational dimensions of this process back to the forefront. Emotional exhaustion, desensitization, and reduced perceived professional competence, emphasized in classical burnout theories, have become more complex in the digital age due to the constant need to be online, excessive screen exposure, and information overload. The shift of work, education, and social life to the digital environment, which began during the pandemic, has significantly increased the amount of time individuals spend in front of screens; this situation has been associated with an increase in cognitive fatigue, attention deficit, sleep disorders, and psychological burnout symptoms. In the literature, this situation is explained by the concepts of digital burnout or digital fatigue, which, unlike classic burnout, are shaped by technology-based triggers. Digital burnout is based not only on workload but also on the pressure to be constantly available, the use of multiple digital platforms, and the inability to mentally disconnect from work. This paper addresses digital burnout as an emerging public health and occupational risk area, discussing the theoretical foundations of the concept, its distinguishing features from classic burnout, and its effects in the context of post-pandemic working models. It also highlights the importance of early recognition of digital burnout for protecting employee mental health and developing sustainable working environments. It emphasizes the need to develop preventive approaches, particularly for healthcare workers and groups exposed to intense digital exposure, and to support digital awareness and boundary-setting skills.

Keywords: Digital burnout, burnout syndrome, digitalization, remote work, mental health

1.GİRİŞ

Teknoloji kullanımının ve dijitalleşmenin dünya genelinde hızlı bir biçimde artışı ile iş yaşamı, öğrenme ve sosyal etkileşim süreçlerinin biçimi değişime uğramıştır. Bu değişim özellikle Covid-19 pandemisi ile belirgin hale gelmiş, uzaktan çalışma ve uzaktan eğitim süreçlerinin zorunlu bir biçimde hayatımıza entegre olmasıyla sonuçlanmıştır. Dijital ve teknolojik araçların yoğun kullanımıyla birlikte bilgiye erişim kolaylığı ve verimlilik sağlansa da gün içerisinde sürekli çevrimiçi olma hali ve aşırı uyaranlara karşı maruziyet sonucu yeni bir psikososyal risk faktörü ortaya çıkmıştır (Nardin et al., 2025). Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün yapmış olduğu Uluslararası İstatistiksel Hastalık Sınıflandırması ve İlgili Sağlık Sorunları (ICD)-11 sınıflandırmasında, bu değişiklikle birlikte, ICD-10'da yer aldığı zihinsel, davranışsal ve nörogelişimsel bozukluklar kategorisinden çıkarılan tükenmişlik kavramı; yönetilemeyen kronik işyeri stresine bağlı bir mesleki olgu olarak tanımlanmış ve bu olgunun klinik ve mesleki boyutlarını yeniden gündeme taşımıştır. Bu tanımlamayla birlikte tükenmişlik sorununun yapısal koşullarla ilişkili olduğunu ortaya konmuştur. Sonuç olarak, klasik tükenmişlik kavramı dijitalleşen dünyanın koşullarıyla birlikte yeni bir tanım kazanmış ve alanyazında dijital tükenmişlik ya da dijital yorgunluk kavramları ile ele alınmaya başlanmıştır (Franco et al., 2019; World Health Organization, 2025). Günümüzde dijital tükenmişlik-yorgunluk kavramı, ortaya çıkan bir halk sağlığı sorunu olarak değerlendirilebilir. Klasik tükenmişlik belirtilerine ek olarak, uzaktan çalışan bireyler iş ve özel yaşam arasındaki sınırları belirlemede daha fazla güçlük yaşadıklarını, bunun da çoğu zaman çalışma saatlerinin belirlenen zaman dilimlerinin ötesine uzamasına yol açtığını bildirmektedir (Romero-Rodríguez et al., 2023).

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Tükenmişlik Sendromu

Klasik olan tükenmişlik kavramı, Freudenberger (1974) tarafından " yeterli toparlanma süresi olmaksızın aşırı çaba göstermenin sonucunda ortaya çıkan fiziksel ve zihinsel bir tükenme durumu " olarak tanımlanmış, ardından Maslach ve Jackson bu kavramı duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve azalmış kişisel başarı duygusu olmak üzere üç boyut olarak ele alınmıştır (Maslach & Jackson, 1981)

2.2. Klasik Tükenmişlikten Dijital Tükenmişliğe Tanımsal Dönüşüm

Günümüze gelindiğinde tükenmişlik kavramı daha da genişlemiş, bireylerin iş ve özel yaşamlarında bilgisayar, akıllı telefon ve diğer dijital cihazların kullanımının artmasıyla meydana gelen Dijital tükenmişlik olarak karşımıza çıkmaktadır (Gelinas, 2021; Yemenici, 2025). Dijital tükenmişlik-yorgunluk, bir tür tükenmişlik, motivasyon kaybı ve zihinsel sağlığa zarar veren bir durumdur. Başka bir ifadeyle dijital yorgunluk, dijital teknolojilerle etkileşimden kaynaklanan fiziksel, duygusal ve zihinsel yorgunluk halidir (Tutar ve Mutlu, 2024). Sürekli çevrim içi olma zorunluluğu ve erişilebilir olma beklentisi, bilişsel yüklenme ve ekran başında geçirilen uzun sürelere bağlı ağrı ve yorgunluk gibi fiziksel ve psikosomatik rahatsızlıkları içermektedir. Ayrıca kesintisiz biçimde çevrim içi olma durumu, bireylerin

zihinsel toparlanma süreçlerini kesintiye uğratmakta ve kronik bir yorgunluk döngüsünün oluşmasına zemin hazırlamaktadır (Önal, 2025; Özdemir & Erten, 2025; Şirin et al., 2021) Maslach ve Jackson'a (1981) göre tükenmişlik sendromu üç temel boyuttan oluşur: duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve düşük kişisel başarı hissi. Sürecin ilk aşaması olan duygusal tükenme, bireyin iş ve günlük yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan enerjisinin giderek azalmasıyla ortaya çıkar. Bunu izleyen duyarsızlaşma evresinde birey, işi gereği etkileşimde bulunduğu insanlara ve işine karşı soğuk, ilgisiz, alaycı ve insani olmayan tutumlar geliştirmeye başlar. Son aşama olan düşük kişisel başarı hissi ise bireyin kendisini mesleki açıdan yetersiz, başarısız ve gelişim göstereememiş olarak algılamasıyla karakterizedir; bu durum motivasyon kaybını daha da derinleştirir. Bu bağlamda dijital tükenmişlik, Byung-Chul Han'ın "yorgunluk toplumu" kavramsallaştırmasıyla da örtüşmekte; bireylerin performans, hız ve sürekli üretkenlik baskısı altında giderek daha fazla içsel tükenme yaşadıklarını göstermektedir (Nardin et al., 2025).

2.3. İlişkili Güncel Kavramlar

Dijital tükenmişlik ve bireylerin sürekli değişen ve gelişen teknolojik araçlara uyum sağlama sürecindeki stres olarak tanımlanan ve dijital tükenmişliğin tetikleyicilerinden biri olan teknostres kavramları alanyazında sıklıkla birlikte görülmektedir. Bulgular, teknostresin, bireylerin karar verme mekanizmalarını etkilediğini, beynin hızlı ve sezgisel karar alma süreçlerini tetikleyerek bilişsel yanlılıklara neden olabileceğini ve iş doyumunda azalmaya neden olduğunu göstermektedir. Dijital tükenmişlik ise bu sürecin bir sonucu olarak doğmakta, durmaksızın yenilenen dijital sistemler, hızlı iş akışları ve çoklu görev beklentileriyle bireylerin psikolojik ve iş yaşamlarındaki iyi oluş hallerini olumsuz yönde etkilemektedir (Yiğit et al., 2022). Alanyazına bakıldığında; bilgisayar kullanımının çok yoğun olduğu ofis çalışanlarında teknostresin bireylerin normal çalışma düzenlerindeki işlevselliklerindeki kayıplara neden olarak tükenmişliğe sebebiyet verdiği ve iş performansını düşürdüğü görülmüştür (Eren & Çiçekoğlu, 2020; Romero-Rodríguez et al., 2023; Yener, 2018).

3. Dijital Tükenmişliğin Nedenleri

Dijital tükenmişliğin temelinde dijital teknolojilerin iş ve sosyal yaşama yoğun entegrasyonu yatmaktadır (Nardin et al., 2025).

- **İş ve Özel Yaşam Sınırlarının Kaybı:** Dijital platformlar aracılığıyla uzaktan çalışan bireyler, iş ve özel yaşam arasındaki sınırları belirlemede zorluk yaşamakta, ''sürekli çevrim içi olma kültürü'' bireylerin iş- özel hayat dengesini kuramamasına neden olmakta ve böylece çalışma saatlerinin belirlenen zaman dilimlerinin ötesine uzamasına yol açmaktadır (Nardin et al., 2025).

- **Çoklu Görev ve İletişim Baskısı:** Çalışan bireylerden çoklu görev talebiyle birden fazla dijital iletişim kanalını eş zamanlı yönetmeleri ve sanal toplantılara katılmaları beklenmekte, bu durum öznel bilişsel yorgunluğun artmasına neden olmaktadır (Supriyadi et al., 2025).

4. Dijital Tükenmişliğin Belirtileri

Dijital tükenmişlik belirtileri klinik ve işlevsel olarak üç ana kategoride incelenebilir:

4.1. Psikolojik Belirtiler

Dijital tükenmişliğin belitileri; teknoloji kullanımının amacını aşıp dijital ortamlarda geçirilen sürelerin artması ile sürekli çevrimiçi olma ve erişilebilirlik sonucu oluşan stres ve gerginliğin bireyde meydana getirdiği fiziksel ve zihinsel rahatsızlıklar olan düşük verimlilik, düşük üretkenlik, rutin durumlarla baş etmede azalma, çevreye karşı ilgi azalması, sürekli yorgun olma ve duyguları kontrol edememe yer almaktadır. Dijital araçlar ve ortamlarla sürekli iç içe olan ve etkileşimin üst düzeyde olduğu, kullanımın kontrolsüz olması sebebiyle bağımlılık, yoksunluk, depresyon, çevreye uyumsuzluk, sosyal izolasyon, duygu durum bozuklukları gibi davranışsal bağımlılıklar yaşanmaktadır (Kalip & Çöl, 2020; Şirin et al., 2021; Yemenici, 2025). Sosyal izolasyonun artması, duygusal tükenmişliği derinleştirmektedir (Özdemir & Erten, 2025). Ayrıca dijital yorgunluk ile anksiyete arasında doğrudan bir ilişki olduğu da ileri sürülmektedir (Romero-Rodríguez et al., 2023).

4.2. Bilişsel Belirtiler

Zihinsel aktivitenin yoğunluğu, hafıza ve konsantrasyon bozukluklarına yol açmaktadır. Karar verme güçlüğü ve rutinlerle baş edememe durumu gözlenmektedir Motivasyonel yorgunluk, bir etkinliği başlatmaya yönelik motivasyon eksikliği ve görevlerden kaçınma eğilimiyle ilişkilendirilirken; duygusal yorgunluk, “bunalmış, tükenmiş ve tüketilmiş hissetme durumu” olarak tanımlanmaktadır (Maslach, 2003). Bir çalışmada; ayna kaygısı, fiziksel olarak sıkışmış hissetme, aşırı bakış ve sözsüz iletişim üretimindeki bilişsel yükün çevrimiçi toplantıda olma ile anlamlı ve pozitif ilişkili olduğu saptanmıştır (Romero-Rodríguez et al., 2023).

4.3. Fiziksel Belirtiler

Fiziksel belirtiler genellikle psikosomatik özellikler gösterir. Bunlar arasında ‘’bir bireyin dijital ekrana uzun süre maruz kalması sonucunda ortaya çıkan ve retina sinir ağlarını dahi etkileyebilen belirgin bir kötüleşme” olarak tanımlanan görsel yorgunluk, baş ağrısı, migren, uyku bozuklukları, boyun ve omuz ağrıları ile sindirim sorunları yer almaktadır (Yemenici, 2025; Romero-Rodríguez et al., 2023).

5. Dijital Tükenmişliğin Bireysel ve Örgütsel Etkileri

5.1. Bireysel Etkiler

Bireysel düzeyde dijital tükenmişlik, yaşam kalitesinde düşüşe ve ruh sağlığında bozulmaya neden olmaktadır. Özellikle genç nesillerde sosyal izolasyon ve davranışsal bağımlılıklar (yoksunluk, depresyon) risk teşkil etmektedir (Özdemir & Erten, 2025).

5.2. Örgütsel Etkiler

Örgütsel açıdan dijital yorgunluk, üretkenlikte azalma ve işten ayrılma niyetinde artış ile ilişkilidir. Teknostres, iş doyumunu azaltmakta ve örgütsel bağlılığı zayıflatmaktadır (Yiğit et al., 2022). Birçok yönetici çalışan iyilik halinin önemini kabul etse de bu alanda yeterli eğitimi alanların oranı düşüktür (Supriyadi et al., 2025).

6. Psikiyatri ve Ruh Sağlığı Açısından Dijital Tükenmişlik

Dijital tükenmişlik, psikiyatrik açıdan ele alındığında depresyon ve anksiyete ile güçlü bir ilişki içindedir. Dijital faaliyetlerden kaynaklanan stres ve kaygı, sıklıkla uykusuzluk gibi psikosomatik semptomlara dönüşmektedir (Yemenici, 2025). Ayrıca, teknostres yaşayan bireylerin karar verme süreçlerinde beynin hızlı ve sezgisel işleyen sistemini daha sık kullandıkları, bu durumun da bilişsel yanlılıklara düşme eğilimini artırdığı öngörülmektedir (Yiğit et al., 2022). Üniversite öğrencileri üzerinde yapılan çalışmalarda, dijital yorgunluğun anksiyete ile doğrudan ilişkili olduğu ve psikolojik dayanıklılığın bu riski azalttığı saptanmıştır (Baltà-Salvador et al., 2021; Franco et al., 2022; Moralista et al., 2022; Oducado et al., 2021). Ayrıca dijital yorgunluk ile anksiyete arasında doğrudan bir ilişki olduğu da ileri sürülmektedir (Ngien & Hogan, 2022).

7. Koruyucu ve Önleyici Yaklaşımlar

7.1. Bireysel Düzeyde

Bireylerin dijital araçlara maruz kalma sürelerini yönetmeleri ve kısa süreli dinlenme aralıkları (mikro-molalar) vermeleri yorgunluğun azaltılmasında kritiktir (Supriyadi et al., 2025). Romero-Rodríguez ve arkadaşları (2023) bu durumu; "Dijital kopma hakkı" bireysel bir gereklilik haline gelmiştir şeklinde açıklamıştır. Akgün (2019), teknoloji kabulünün zayıflaması ve uyum sorunları sebebiyle ortaya çıkan teknostresin, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kabulü arttıkça azaldığını savunmuş ve bu kapsamda öğretim elemanlarıyla bir çalışma yürütmüştür. Ancak literatüre bakıldığında teknolojinin benimsense dahi teknostresin neden olduğu tüm sonuçlarını ortadan kaldırmaya yeterli olmayacağı gözlemlenmektedir (Yiğit et al., 2022).

7.2. Kurumsal Düzeyde

Subjektif bilişsel yorgunluğun şekillenmesinde ekip bağlamlarının rolü oldukça kritiktir. Yorgunluğun azaltılmasında kısa süreli dinlenme aralıklarının önemi çalışmalarda vurgulanmakta ve sürekli dijital iletişimin etkilerini inceleyerek, bu iletişim biçiminin hem esnekliği artıran hem de çalışanlar üzerinde aşırı talepler yaratan ikili bir yapıya sahip olduğu bilgiyle hareket edilmesi gerekliliği savunulmaktadır (Supriyadi et al., 2025). Kurumlar, yalnızca dijital araçlara değil, yöneticilerin ekiplerini destekleyebilmeleri için ruh sağlığı eğitim programlarına da yatırım yaparak daha sağlıklı ve dengeli bir çalışma ortamının teşvik edilmesi, sürdürülebilir çalışma modellerinin geliştirilmesi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır (Nardin et al., 2025; Supriyadi et al., 2025).

8. Tartışma

Güncel alanyazında, dijital tükenmişliğin pandemi dönemiyle sınırlı kalmayıp kalıcı bir risk faktörüne dönüştüğünü görülmektedir. Özellikle uzaktan eğitim ve çalışma modellerinin kalıcı hale gelmesi bu olgunun derinleşmesine neden olmaktadır. Özellikle ergenler, gençler ve genç yetişkinlerde internet ve dijital araç kullanımının giderek arttığını ve bu artışın psikososyal riskleri beraberinde getirdiğini göstermektedir. Dijital ortamlara yoğun ve kontrolsüz maruziyet; sosyal izolasyon, sürekli stres, duygusal tükenmişlik ve zihinsel yorgunluk gibi

olumsuz sonuçlara yol açarak dijital tükenmişlik tablosunun ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Bu durumun tespiti, risk altındaki grupların erken dönemde belirlenmesi, koruyucu-önleyici ruh sağlığı yaklaşımlarının geliştirilmesi ve bireylerin dijital kullanım alışkanlıklarına yönelik düzenleyici müdahalelerin planlanması açısından kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, dijital yorgunluk ve buna eşlik eden psikopedagojik ve sosyo-duygusal sonuçlar; çevrim içi derslerin kalitesinin gözden geçirilmesi, öğrencilerin dijital araçlara uyum süreçlerinde desteklenmesi ve öğretmen–öğrenci etkileşiminin güçlendirilmesi yoluyla ele alınabilir (Önal, 2025; Romero-Rodríguez et al., 2023; Yemenici, 2025). Toplum ve birey sağlığı ve refahı açısından insan yaşam döngüsü dönemleri özelinde ergenler, gençler ve genç yetişkinlerde gerçekleşebilecek psikolojik-fiziksel değişikliklerin önemsenmesi ve buna göre yaklaşımlar belirlenmesi önem arz etmektedir. Dijital ortamların ve araçların kullanımının kontrolsüzlüğü dijital tükenmişlik durumunu ortaya çıkaracaktır. Bu durumun tespiti ve önleminin alınması toplumların ve bireylerin sağlığı ve huzuru için önemlidir.

9. Sonuç ve Öneriler

Dijital tükenmişlik, bireysel bir zayıflık olarak tanımlanmaktan ziyade; teknolojinin ve yaşam koşullarının getirisiyle dijitalleşen dünyanın ortaya çıkardığı yapısal ve yönetilemeyen bir stres faktörüdür. Bu çalışma, ev ortamında uzaktan çalışmanın ve dijital eğitimin, bireylerin fiziksel ve ruhsal sağlıkları üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymuştur.

Öneriler:

1. Ruh sağlığı profesyonelleri, dijital yorgunluk belirtilerini tanıma ve müdahale etme konusunda yetkinliklerini artırmalıdır.
2. Kurumlar, çalışanların mesai saatleri dışında "çevrim dışı" kalma haklarını koruyan politikalar geliştirmelidir.
3. Akademik çalışmalarda, dijital tükenmişliğin uzun vadeli nöropsikolojik etkilerini inceleyen boylamsal araştırmalara öncelik verilmelidir.
4. Bireyler kendi dijital streslerinin farkında olmalı ve kendilerine dijital dünyanın yoğun uyaranlarından ayrı vakit ayırmalıdır.

10. Kaynakça

Akgün, F. (2019). Öğretim elemanlarının bilgi ve iletişim teknolojilerine yönelik kabulleri ve teknostres algıları arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Eğitim Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 9*(2), 40–66.

Baltà-Salvador, R., Olmedo-Torre, N., Peña, M., & Renta-Davids, A. I. (2021). Academic and emotional effects of online learning during the COVID-19 pandemic on engineering students. *Education and Information Technologies*, *26*(6), 7407–7434. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10593-1

Eren, A. S., & Çiçeklioğlu, H. (2020). Örgütlerde teknostresin ölçümüne yönelik bir alan araştırması. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, *12*(3), 2927–2943.

Franco, M. V., et al. (2019). Síndrome de burnout e seu enquadramento como acidente do trabalho. *Intraciência Revista Científica FAGU*, *17*, 1–15.

Freudenberger, H. J. (1974). *Staff burn-out*. *Journal of Social Issues*, *30*(1), 159–165. https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1974.tb00706.x

Gelinas, J. (2021). *Digital fatigue: How to make technology work for you, not against you*. Talent Culture. https://talentculture.com/blog/digital-fatigue-how-to-make-technology-work-for-you-not-against-you/

Kalip, K., & Çöl, M. (2020). Teknolojiyle bağlantılı yeni davranışsal bozukluklar / Recent behavioral disorders due to technology. *ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi*, *5*(2), 318–333. https://doi.org/10.35232/estudamhsd.712134

Maslach, C. (2003). Job burnout: New directions in research and intervention. *Current Directions in Psychological Science*, *12*(5), 189–192. https://doi.org/10.1111/1467-8721.01258

Maslach, C., & Jackson, S. E. (1981). The measurement of experienced burnout. *Journal of Organizational Behavior*, *2*(2), 99–113. https://doi.org/10.1002/job.4030020205

Moralista, R. B., Michael, R., Oducado, F., Robles, R. G., & Rosano, D. A. (2022). Determinants of Zoom fatigue among graduate students of teacher education program. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, *17*(13), 176–185. https://doi.org/10.3991/IJET.V17I13.31511

Nardin, K. de L., Santiago, F., & Justi, M. M. (2025). Digital burnout: The effect of screen workloads on mental health and quality of life. *Cronicon Psychology*, *14*, Article 01149. https://doi.org/10.31080/ECPP.2025.14.01149

Ngien, A., & Hogan, B. (2022). The relationship between Zoom use with the camera on and Zoom fatigue: Considering self-monitoring and social interaction anxiety. *Information, Communication & Society*. https://doi.org/10.1080/1369118X.2022.2065214

Önal, F. (2025). *Serbest zamanda sosyal medya bağımlılığı ve can sıkıntısı: Üniversite öğrencileri üzerine keşifsel bir çalışma* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Özdemir, O., & Erten, P. (2025). Ergenler, gençler ve genç yetişkinlerde dijital tükenmişlik durumunun incelenmesi. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, *16*(2), 2915–2941. https://doi.org/10.51460/baebd.1613501

Romero-Rodríguez, J. M., Hinojo-Lucena, F. J., Kopecký, K., & García-González, A. (2023). Digital fatigue in university students as a consequence of online learning during the COVID-19 pandemic. *Educación XX1*, *26*(2), 165–184. https://doi.org/10.5944/educxx1.34530

Şirin, T., Eraltı Şirin, Y., & Can, B. (2021). Beden eğitimi öğretmenlerinin dijital tükenmişlik düzeylerinin incelenmesi. *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, *7*(42), 1236–1245.

Supriyadi, T., Sulistiasih, S., Rahmi, K. H., Pramono, B., & Fahrudin, A. (2025). The impact of digital fatigue on employee productivity and well-being: A scoping literature review. *Environment and Social Psychology*, *10*(2). https://doi.org/10.59429/esp.v10i2.3420

Tutar, H., & Mutlu, H. T. (2024). Dijital yorgunluk ölçeği (DİYÖ): Geçerlilik ve güvenirlik çalışması. *İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi*, *(67)*, 56–74.

World Health Organization. (2025). *International classification of diseases*. https://www.who.int/standards/classifications/classification-of-diseases

Yemenici, A. D. (2025). Uzaktan çalışanlardaki dijital yorgunluğun çalışan sessizliğine etkisi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *16*(2), 321–335.

Yener, S. (2018). Teknostresin iş performansı üzerindeki etkisi: Tükenmişliğin aracı rolü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *20*(2), 85–101.

Yiğit, A. G., Bayram Topçu, T., & Bayar Türkoğlu, H. T. (2022). Teknostresin dijital tükenmişliğe etkisinde bilişsel ön yargıların rolü. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *9*(3), 1857–1883.

"EV GENCİ" OLGUSU: NEET GENÇLERDE SOSYAL GERİ ÇEKİLME VE DİJİTAL YAŞAMIN RUH SAĞLIĞINA ETKİLERİ

THE "STAY-AT-HOME YOUTH" PHENOMENON: SOCİAL WİTHDRAWAL AMONG NEET YOUTH AND THE EFFECTS OF DİGİTAL LİFE ON MENTAL HEALTH

Uzm. Hem. Feyza ACAR

Muğla Eğitim ve Araştırma Hastanesi, AMATEM Polikliniği,

ORCID ID: https://orcid.org/0000 0003 3808 6260

afeyza.acar@gmail.com

Doç.Dr. Fatma BİRGİLİ

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Hemşirelik Esasları Anabilim Dalı, Muğla /Türkiye.

ORCID ID: https://orcid.org/0000 -0003-0942-2122

fatmab@mu.edu.tr

Uzm. Hem. Güllü YAZKAN

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Psikiyatri Hemşireliği Anabilim Dalı, Muğla/Türkiye

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2860-1169

gulluyazkan@gmail.com

Prof.Dr. Nezihe BULUT UĞURLU

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Psikiyatri Hemşireliği Anabilim Dalı, Muğla/Türkiye

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7103-4625

nugurlu@mu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde özellikle son dönemde oldukça sık karşımıza çıkan ve kamuoyunda "ev genci" olarak adlandırılan genç bireyler, eğitimde, istihdamda veya mesleki eğitim süreçlerinde yer almayan küresel olarak bilinen ismiyle ''NEET (Not in Education, Employment, or Training)'' grubu ile örtüşen çok boyutlu bir toplumsal ve ruhsal kırılganlık alanı olarak dikkat çekmektedir. Güncel çalışmalar, bu gençlerin zamanlarının büyük bölümünü ev ortamında geçirdiğini, dijital medya kullanımının belirgin biçimde arttığını ve yüz yüze sosyal etkileşimlerinin giderek azaldığını göstermektedir. Uyku–uyanıklık döngüsünde düzensizlik, yeme davranışlarında değişim, fiziksel aktivite düzeyinde azalma ve gündelik yaşamın

yapılandırılamaması gibi örüntüler ev genci profiline sıklıkla eşlik etmektedir. Bu durumun uzun vadede psikolojik iyi oluşta azalma, işlevsellik kaybı ve toplumsal hayattan kopuş riskini artırdığı; özellikle gençlik dönemine özgü gelişimsel görevlerin sekteye uğramasına zemin hazırladığı bildirilmektedir. Bu bağlamda, ev genci olgusunun etiketleyici ve indirgemeci bir yaklaşımdan ziyade, sosyal geri çekilme, dijital yaşam ve ruhsal kırılganlık ekseninde bütüncül bir çerçevede ele alınmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu bildirinin amacı, kamuoyunda "ev genci" olarak adlandırılan NEET gençleri sosyal geri çekilme, dijital yaşam örüntüleri ve günlük yaşam düzeni bağlamında ele alarak, söz konusu olgunun ruh sağlığı açısından taşıdığı çok boyutlu risk alanlarını tartışmak ve bu alandaki yaklaşımların önemini vurgulamaktır.

Anahtar Kelimeler: Ev genci, NEET, sosyal geri çekilme, dijital yaşam

SUMMARY

Young individuals who are frequently encountered today, especially in recent times, and who are referred to in public discourse as "homebound youth," represent a multidimensional area of social and psychological vulnerability that overlaps with the globally recognized group known as "NEET (Not in Education, Employment, or Training)." Recent studies show that these young people spend most of their time at home, with a marked increase in digital media use and a gradual decrease in face-to-face social interaction. Patterns such as irregular sleep-wake cycles, changes in eating behavior, decreased physical activity levels, and an inability to structure daily life often accompany the homebody profile. It has been reported that this situation increases the risk of long-term psychological decline, loss of functionality, and disengagement from social life, particularly paving the way for disruptions in developmental tasks specific to adolescence. In this context, it is necessary to address the phenomenon of homebound youth within a holistic framework centered on social withdrawal, digital life, and mental vulnerability, rather than through a labeling and reductive approach. The purpose of this paper is to discuss the multidimensional risk areas that this phenomenon carries in terms of mental health by addressing NEET youth, referred to as "homebound youth" in public discourse, in the context of social withdrawal, digital life patterns, and daily life routines, and to emphasize the importance of approaches in this area.

Keywords: homebound youth, NEET, social withdrawal, digital life

1. GİRİŞ

Gelişen toplumlarda, gençlik aşamasından yetişkin bir birey olma süreci karmaşık ve belirsiz bir yapıya bürünmüştür. Önceki dönemlerde eğitim hayatını tamamlayan bir gencin iş yaşamına doğrudan katılırken, günümüzde bu iki süreç arasında bir boşluk meydana gelmiştir. Bu boşluktaki en riskli gruplardan biri alanyazında NEET (Not in Education, Employment, or Training) olarak tanımlanan kesimdir (Furlong, 2006). NEET kavramı, eğitimde, iş yaşamında veya herhangi bir mesleki eğitim sürecinde yer almayan genç bireyleri tanımlamak amacıyla ilk olarak Avrupa Birliği tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle 15–29 yaş arsındaki gençleri içeren bu kavram, günümüzde yalnızca ekonomik bir sorun alanı olmakla kalmayıp aynı zamanda ruh sağlığı, sosyal hayatta dışlanma ve topluma uyum gösterememe açısından

da önemli bir risk grubu olarak değerlendirilmektedir (Eurofound, 2012; Genda, 2007; OECD, 2023). Bu bildiri, NEET olgusunu sadece ekonomik bir kayıp olarak değil, bireyin ruh sağlığı ve toplumsal bütünleşmesi üzerindeki yıkıcı etkileriyle birlikte, bütüncül bir perspektifle ele almayı amaçlamaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

NEET bireyler heterojen bir kitleyi temsil etmekte ve yalnızca "işsiz" bireylerle sınırlı kalmamaktadır. Bu kavram altında, birbirinden oldukça farklı sosyo-ekonomik süreçlere sahip alt gruplar bulunmaktadır.

Alanyazında NEET grubu;

Geçici NEET'ler; kısa süreli iş veya eğitim dışı kalan; aktif olarak iş arayan ancak bulamayan bireyler,

Kronik NEET'ler; uzun süreli iş bulamayan ve artık iş bulma ümidini yitirdiği için iş aramayı bırakan bireyler,

Gönüllü NEET'ler: Gezi amaçlı, sanatsal faaliyetler veya kişisel gelişim için bilinçli olarak iş yaşamında olmamayı tercih eden, genellikle sosyo-ekonomik düzeyi yüksek bireyler,

Bakım sorumluluğu olanlar; yaşlı, çocuk veya hasta bakımı gibi sebeplerle iş yaşamına katılmayan bireyler,

Ruhsal veya fiziksel sağlık sorunları nedeniyle çalışmayan bireyler şeklinde alt gruplara ayrılmaktadır (Eurofound. 2012; Eurofound, 2016).

3. KURAMSAL TEMELLER

NEET kavramı, alanyazında çoğunlukla iki ana teori üzerinde konumlanmıştır:

3.1. İnsan Sermayesi Teorisi

Becker'in (1994), İnsan Sermayesi Teorisi'nde bahsettiği üzere; bireylerin eğitim veya deneyim ile kazandığı becerileri, onun iş gücü piyasasındaki değerini belirler. NEET bireyler ise eğitim sürecinden ve deneyiminden uzak kaldıkça "sermaye aşınması" yaşarlar. Uzun süre istihdam dışında kalmak, bireyin var olan yeteneklerinin körelmesine ve işverenlerinde gözünde "riskli aday" olarak etiketlenmesine neden olur (Becker, 1994).

3.2. Sosyal Dışlanma Kuramı

Sosyal dışlanma ise; yalnızca maddi yoksulluğu iafde etmekle kalmayıp toplumun ana kurumları olan iş, okul, sivil toplumdan kopuş sürecini ifade etmektedir. Bynner ve Parsons (2002), NEET sürecinin uzamasının bireyi yalnızca ekonomik olarak etkilemediğini, kültürel ve sosyal ağlardan da izole ettiğini belirtir.

TOPLUMSAL VE EKONOMİK YANSIMALAR

NEET bireylerin artışı, yalnızca bireysel düzeyde değil, toplumsal ve ekonomik düzeyde de ciddi sonuçlara neden olmaktadır. Eurofound (2012), NEET bireylerin Avrupa ekonomilerine yıllık milyarlarca avroluk üretkenlik kaybına neden olduğunu bildirmiştir. Türkiye özelinde ise genç nüfusun üretim ve istihdam dışında kalması, demografik fırsat penceresinin etkin kullanılmasını engellemektedir (TÜİK, 2023). Ayrıca alanyazında; gençken yaşanan uzun süreli işsizliğin, bireyin ileriki yaşamında daha düşük ücret almasına ve daha yüksek işsizlik riski taşımasına neden olduğu görülmektedir. (Arulampalam, 2001).

RUH SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ BULGULAR

Araştırmalar, NEET bireylerde depresyon, anksiyete, düşük öz yeterlik, sosyal izolasyon ve yaşam doyumunda azalma, kronik stres ve anksiyete, depresyon eğilimi, uyku bozuklukları, madde kullanımı ve riskli davranışlarda artış, topluma karşı öfke ve yabancılaşma gibi ruhsal sorunların daha sık görüldüğünü ortaya koymaktadır (Bynner & Parsons, 2002; Goldman-Mellor et al., 2016). Uzun süreli NEET olma durumu, bireyin kendilik algısını zedelemekte ve "işe yaramazlık" duygusunu pekiştirmektedir. Ayrıca, sosyal destek ağlarının zayıflaması ve gündelik yaşamda yapılandırılmış rollerin kaybı, davranışsal riskleri artırmakta; dijital bağımlılık ve pasif yaşam tarzı gibi ikincil sorunlara zemin hazırlamaktadır (Furlong, 2006).

TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT DURUM VE ÖZGÜN DİNAMİKLER

Türkiye'deki NEET sorunu, Avrupa ülkelerinden farklı dinamikler sergilemektedir. Alanyazın incelendiğinde, sorunun "cinsiyetlendirilmiş" (gendered) yapısı göze çarpmaktadır. Kadınlarda NEET oranı, erkeklerin neredeyse iki katıdır. Bu durum, Türkiye'de kadının iş gücüne katılımının önündeki kültürel bariyerler ve bakım hizmetlerinin yetersizliği ile açıklanmaktadır. Ayrıca, üniversite mezunu işsizliğindeki artış, "diplomalı NEET" kavramını Türkiye gündemine sokmuştur. Beklenti yüksekliği ile piyasa gerçekleri arasındaki uçurum, bu gruptaki hayal kırıklığını derinleştirmektedir. Genç bireylerin, 15–24 yaş grubu içerisinde yaş ilerledikçe NEET olma olasılığının arttığı; bu olasılığın kadınlarda erkeklere kıyasla daha yüksek olmasıyla "cinsiyetlendirilmiş" yapısının öne çıktığı görülmüştür. Özellikle genç kadınların işgücü piyasasına erişimde yaşadıkları güçlükler nedeniyle NEET olma durumuyla daha sık karşılaştıkları ifade edilmektedir. Eğitim düzeyi açısından değerlendirildiğinde, çalışmaların ortak bulgusu eğitim seviyesinin yükselmesinin NEET olma olasılığını azalttığı yönündedir. Bu etkinin kadınlarda daha belirgin olduğu; buna karşın evliliğin, çocuk bakımı ve ev içi sorumluluklar nedeniyle, kadınlar için önemli bir NEET belirleyicisi olarak öne çıktığı görülmektedir. İstihdam göstergelerine odaklanan çalışmalar, geçmiş iş deneyiminin NEET olma olasılığını azalttığını ortaya koymaktadır. Ancak gençlerin çoğunlukla geçici, güvencesiz ve sürdürülebilir olmayan işlerde istihdam edilmeleri, işgücü piyasasından kopuşu artırarak NEET olma riskini yükseltmektedir. Hane halkına ilişkin çalışmalara göre yurtdışından göç eden, kırsal bölgelerde yaşayan ve kalabalık hanelerde bulunan gençlerin NEET olma olasılığı artmaktadır. Buna karşılık, hanede çalışan birey sayısının fazla olması NEET olasılığını azaltan bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca kırsal bölgelerde yaşayan gençlerin dijital beceri düzeylerinin kentlerde yaşayanlara ve ülke ortalamasına kıyasla daha düşük olduğu ve bunun NEET olma olasılığını artırdığı belirtilmektedir (Çakmak & Yiğit, 2022; Eurofound, 2012).

4. TARTIŞMA

Açıkça görülmektedir ki NEET bireylerin yalnızca istihdam politikalarıyla ele alınması yetersizdir. Ruh sağlığı hizmetlerine erişim, psikososyal destek programları ve bireysel güçlendirme yaklaşımları bu alanda kritik öneme sahiptir. Özellikle psikiyatri ve toplum ruh sağlığı perspektifinden bakıldığında; motivasyonel görüşme, öz yeterlik temelli müdahaleler ve yapılandırılmış günlük yaşam becerileri eğitimleri NEET bireylerde işlevselliği artırabilecek girişimler olarak öne çıkmaktadır (Gariépy et al., 2022; Holte, 2018; Maguire, 2015).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

NEET bireyler, günümüz toplumlarının oldukça büyük ölçekli gruplarından biridir. Bu gruptaki büyüme, yalnızca ekonomik göstergelerle değil; ruh sağlığı, toplumsal bütünlük ve gelecek kuşakların refahı açısından da ele alınmalıdır. Çok disiplinli, birey merkezli ve ruh sağlığını önceleyen politikalar geliştirilmediği sürece NEET olgusu kronikleşme riski taşımaktadır. Bu bağlamda; önleyici politikalar, psikososyal rehabilitasyon, esnek eğitim modelleri ve kritik olarak cinsiyet eşitliği odaklı yaklaşımlar oldukça önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

Arulampalam, W. (2001). Is unemployment really scarring? Effects of unemployment experiences on wages. *The Economic Journal, 111*(475), 585–606. https://doi.org/10.1111/1468-0297.00664

Becker, G. S. (1994). *Human capital: A theoretical and empirical analysis with special reference to education* (3rd ed.). The University of Chicago Press.

Bynner, J., & Parsons, S. (2002). Social exclusion and the transition from school to work: The case of young people not in education, employment, or training (NEET). *Journal of Vocational Behavior, 60*(2), 289–309. https://doi.org/10.1006/jvbe.2001.1868

Çakmak, B. Y., & Yiğit, B. (2022). Türkiye'de ne eğitimde ne istihdamda yer almayan genç (NEET) olmak: Sistematik literatür analizi. In A. Özdemir (Ed.), *Çalışma ekonomisi ve endüstri ilişkileri seçme yazılar-VI* (ss. 149–165). Değişim Yayınları.

Eurofound. (2012). *NEETs – Young people not in employment, education or training: Characteristics, costs and policy responses in Europe* (EF1254EN). Publications Office of the European Union. https://assets.eurofound.europa.eu/f/279033/9e48d8f2be/ef1254en.pdf

Eurofound. (2016). *Exploring the diversity of NEETs*. Publications Office of the European Union.

Furlong, A. (2006). Not a very NEET solution: Representing problematic labour market transitions among early school-leavers. *Work, Employment and Society, 20*(3), 553–569. https://doi.org/10.1177/0950017006067001

Gariépy, G., Danna, S. M., Hawke, L., Henderson, J., & Iyer, S. N. (2022). The mental health of young people who are not in education, employment, or training: A systematic review and meta-analysis. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology, 57*(6), 1107–1121. https://doi.org/10.1007/s00127-021-02212-8

Genda, Y. (2007). Jobless youths and the NEET problem in Japan. *Social Science Japan Journal, 10*(1), 23–40. https://doi.org/10.1093/ssjj/jyl035

Goldman-Mellor, S., Caspi, A., Arseneault, L., Ajala, N., Ambler, A., Danese, A., & Moffitt, T. E. (2016). Committed to work but vulnerable: Self-perceptions and mental health in NEET 18-year-olds from a contemporary British cohort. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 57*(2), 196–203. https://doi.org/10.1111/jcpp.12459

Holte, B. H. (2018). Counting and meeting NEET young people: Methodology, perspective and meaning in research on marginalized youth. *Young, 26*(1), 1–16. https://doi.org/10.1177/1103308816677618

Maguire, S. (2015). NEET, unemployed, inactive or unknown – why does it matter? *Educational Research, 57*(2), 121–132. https://doi.org/10.1080/00131881.2015.1030850

OECD. (2023). *Education at a glance 2023: OECD indicators*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/eag-2023-en

OECD. (n.d.). *Youth not in employment, education or training (NEET)*. https://www.oecd.org/en/data/indicators/youth-not-in-employment-education-or-training-neet.htm

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE ALGILADIKLARI STRES DÜZEYLERİ İLE TOPLUMSAL KATILIMLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PERCEIVED STRESS LEVELS AND SOCIAL PARTICIPATION IN UNIVERSITY STUDENTS

Ergoterapist Sümeyra CERAN
Ankara Sincan Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
sumeyraceran0@gmail.com- https://orcid.org/0009-0008-9450-1557

Dr. Volkan TÜRKMEN
Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
volkantrkmen@yandex.com- https://orcid.org/0000-0003-4215-4203

ÖZET

Amaç: Üniversitede okuyan öğrencilerin algılanan stres düzeyleri ve toplumsal katılım düzeylerini belirlemek ve aralarındaki ilişkiyi araştırmaktır. **Yöntem:** Bu araştırma 10 Kasım-20 Kasım 2025 tarihleri arasında Google form üzerinden yapılmıştır. Çalışmaya Gülhane Sağlık Bilimleri Üniversitesi Ergoterapi Bölümünde okuyan 18- 40 yaş aralığında 76 üniversite öğrencisi dahil edildi. Öğrencilerin algılanan stresleri "Algılanan Stres Ölçeği" ile, toplumsal katılımı ise "Toplumsal Bütünleşme Anketi" ile değerlendirildi. Verilerin özetlenmesinde tanımlayıcı istatistikler kullanıldı. **Bulgular:** Çalışmaya 12'si (%15,8) erkek, 64'ü (%84,2) kadın olmak üzere toplam 76 öğrenci katıldı. Öğrencilerin Algılanan Stres Ölçeği toplamı ortalaması 28,71±8,14 olarak bulunmuştur. %40,8 düşük düzeyde, %53,9 u orta düzeyde ve %5,3 ü yüksek düzeyde stres algıladıkları tespit edilmiştir. Öğrencilerin Toplumsal Bütünleşme Anketi ev katılım ortalaması 4,5±2,26, sosyal katılım ortalaması 7,75± 2,19, üretici aktivite ortalaması 4,82±2,19, toplam ortalaması 17,08±4,18 olarak bulunmuştur. Algılanan Stres Düzeylerine göre Toplumsal bütünleşme Ölçeği ve alt boyut puan dağılımları karşılaştırıldığında Stres Düzeyi düşük grupta sosyal katılım (8,32±2,40), Üretici Aktivite (5 (3-6)) ve Toplumsal bütünleşme (17,39±5,08) puanlarının diğer gruplara göre yüksek olduğu ancak bu farklılaşmanın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür (sırasıyla; p=0,121, p=0,576 ve p=0,341). Algılanan Stres Ölçeğinin Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutu ile Toplumsal bütünleşme ölçeği Sosyal Katılım ve Üretici Aktivite alt boyutları arasında ilişki negatif yönlü zayıf düzeyde (rho=-0,263 ve rho=-0,239) istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmuştur (p=0,022 ve p=0,037). **Sonuçlar**: Araştırmamızda katılımcıların algıladıkları stres düzeyini ve toplumsal katılımını çeşitli faktörlerin etkilediği görülmüştür. Bu durum göz önüne alınarak üniversite öğrencilerinin stres oluşturulan ve toplumsal katılımını

kısıtlayan durumları belirleme ve bu durumların iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Algılanan stres düzeyi; toplumsal katılım; üniversite öğrencisi.

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to determine the perceived stress levels and social participation levels of university students and to examine the relationship between these variables. **Methods:** This research was conducted via a Google Form between 10–20 November 2025. A total of 76 university students aged 18–40, studying in the Department of Occupational Therapy at Gülhane University of Health Sciences, were included. Students' perceived stress levels were assessed using the *Perceived Stress Scale*, and social participation was evaluated using the *Community Integration Questionnaire*. Descriptive statistics were used to summarize the data. **Results:** A total of 76 students participated in the study, including 12 males (15.8%) and 64 females (84.2%). The mean total score of the Perceived Stress Scale was 28.71±8.14. Among the students, 40.8% reported low, 53.9% moderate, and 5.3% high perceived stress levels. The mean scores of the Community Integration Questionnaire were 4.5±2.26 for home integration, 7.75±2.19 for social integration, 4.82±2.19 for productive activities, and 17.08±4.18 for the total score. When the distribution of Community Integration Questionnaire scores and its subdimensions was compared across perceived stress levels, it was observed that the low-stress group had higher social integration (8.32±2.40), productive activity (5 (3–6)), and total integration scores (17.39±5.08) compared to other groups; however, these differences were not statistically significant (p=0.121, p=0.576, and p=0.341, respectively). A weak, negative, and statistically significant correlation was found between the *Perceived Helplessness* subdimension of the Perceived Stress Scale and both the *Social Integration* and *Productive Activity* subdimensions of the Community Integration Questionnaire (rho = –0.263 and rho = –0.239; p=0.022 and p=0.037). **Conclusion:** The findings of this study suggest that various factors influence the perceived stress levels and social participation of university students. Considering this, future studies should aim to identify stress-inducing factors and conditions that restrict social participation in university students and develop interventions to improve these conditions.

Keywords: Perceived stress level; social participation; university students.

Giriş

Stres insanı etkileyen herhangi bir olay karşısında bedensel ve ruhsal sınırların zorlanması ve tehdit edilmesiyle oluşan bir durum olarak tanımlanmaktadır. Stres, kişinin kendi durumuna yönelik bir tehdit olarak algıladığı psikolojik bir tehdit olarak kabul edilmektedir (1). Algılanan stres düzeyi ise bireyin yaşamıyla ilgili olay ya da durumlarla alakalı yaptığı bilişsel değerlendirmelere göre belirlenmektedir. Bu algılanan stres düzeyi aynı zamanda, meydana gelen olaylara uyum sağlamanın ne kadar zor olduğuna dair bir ölçüttür (2).

İnsan yaşamı boyunca farklı dönemlerinde birçok strese maruz kalmaktadır. Üniversite yaşamına adım atmak öğrenciler için önemli bir süreç olması sebebiyle bu dönemde yaşadıkları stres uzun yıllardan beri ilgi konusu olmuş ve birçok çalışma yapılmıştır. Bu dönemde yeni beklentilerin ortaya çıkmasıyla, öğrencilerin stres düzeylerini artırabilecek birtakım güçlükleri de beraberinde getirmektedir. Bunlar; kayıt sürecinde yaşanan problemler, arkadaşlarla iletişim, üniversite öğrenimine farklı bir şehirde devam edilecek ise aileden uzak kalma, barınma problemi, finansal problemler, dersler, sınavlar, ödevler, hocaları ile iletişim gelecek kaygısı olabilir. Bu problemler önemli stres kaynağıdır ve algılanan stres düzeyi üzerine de olumsuz etkileri görülmektedir (3). Bunlara ek olarak kandın cinsiyeti, aile koşulları, mali durum ve serbest zaman ve dış aktivitelere katılım eksikliği de algılanan stres düzeyini etkilemektedir (4).

Toplumsal katılım, bireyin ait olduğu toplum içerisinde aktif bir şekilde rollerini ve görevlerini uygun aktiviteleriyle yerine getirmesidir (5). Toplumsal katılımın kişinin ev katılımı, üretkenlik aktivitelerine katılımı ve sosyal katılım alanları bulunmaktadır. Bireyin toplumsal katılımını etkileyen etkileyen birçok etmen bulunmaktadır ve bunlardan biri de strestir (6). İnsanların yaşadığı olaylar, karşılaştıkları problemler ve hedeflerine ulaşma çabası sırasında deneyimledikleri zorlukların sonucunda stres ortaya çıkmakta; bu durum bilişsel, duygusal ve fiziksel açıdan bireyleri olumsuz olarak etkilemektedir. Bu da bireyin rolleri ve görevlerine katılımını etkilemektedir (7).

Bu çalışmanın amacı üniversite okuyan öğrencilerin algıladıkları stres düzeyi ile toplumsal katılım arasındaki ilişkinin incelenmesidir.

Gereç ve Yöntemler

Çalışmaya Gülhane Sağlık Bilimleri Üniversitesi Ergoterapi bölümünde okuyan 18-40 yaş aralığında 76 üniversite öğrencisi katıldı. Çalışma, Google Formlar web anketi platformu kullanılarak gerçekleştirildi. Anket bağlantısı İnstagram ve WhatsApp gibi sosyal medya aracılığıyla paylaşıldı. Katılımcılardan, kartopu örneklemesi olarak bilinen yöntemi kullanarak üniversitenin ilgili bölümünde okuyan mümkün olduğunca çok sayıda potansiyel katılımcıya ulaşmak için çalışma bağlantısını paylaşmaları istendi. Anket veri tabanına erişim 10 gün boyunca açık kalarak gönüllü olmayı kabul eden bireylerden veriler toplandı.

1) Sosyodemografik Bilgi Formu

Bireylerin yaşı, cinsiyeti, bölümü, okuduğu sınıfı, gelir düzeyi, nerede kaldığı ve akademik başarısı gibi bilgiler sosyodemografik bilgi formu ile kaydedildi.

2) Algılanan Stres Düzeyi Ölçeği (ASÖ)

Algılanan Stres Düzeyi Ölçeği (ASÖ), Cohen, Kamarck ve Mermelstein tarafından 1983 yılında geliştirilmiştir (8). Bu ölçeğin amacı, bireylerin son bir ay içerisinde karşılaştıkları durumlarla ilgili düşüncelerini ve duygularını açığa çıkarmaktır. ASÖ'nün 14 maddelik versiyonu, Eskin ve diğerleri tarafından 2013 yılında Türkçeye çevrilmiş ve geçerlilik ile güvenilirlik testleri gerçekleştirilmiştir. Bu uyarlama çalışmasında Eskin ve arkadaşları, Cronbach Alfa iç tutarlılık katsayısını 0,84 olarak belirlemişlerdir (9). Katılımcılar, her maddeyi "hiçbir zaman" (0) ile "çok sık" (4) arasında değişen 52li Likert skalasında değerlendirmektedir. 14 maddeden 7'si (4., 5., 6., 7., 9., 10. ve 13. maddeler) olumlu ifadeler içerdiği için tersten puanlanmaktadır. ASÖ'den alınan toplam puan, bireyin stres seviyesini gösterir. Puanın 42-56 arasında olması yüksek stres düzeyini, 27-41 arasında olması orta stres düzeyini ve 11-26 arasında olması düşük stres düzeyini ifade etmektedir. Ölçeğin, yetersiz özyeterlik algısı ve stres/rahatsızlık algısı olmak üzere iki faktör yapısı bulunmaktadır.

3) Toplumsal Bütünleşme Anketi

Bireyin ev katılımı, sosyal katılımı ve üretkenlik aktivitelerine katılımını değerlendirmek geliştirilen 3 alt başlıktan oluşan 15 maddelik bir ankettir. Toplam puan aralığı 0 ile 29 arasındadır. Ölçeğin puanı yükseldikçe bireyin toplumsal katılımının da yüksek olduğu kabul edilmektedir. Dijkers ve ark. tarafından geliştirilmiştir (10). Türkçe geçerlilik ve güvenirlilik çalışması Akyürek ve ark. tarafından 2016 yılında yapılmıştır (11).

Verilerin Değerlendirilmesi

Tanımlayıcı istatistik olarak sürekli veriler için ortalama, standart sapma (ort±ss), medyan, min ve max kategorik veriler için frekans ve yüzde kullanılmıştır. Sürekli verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edilmiştir. Normal dağılıma uyan sürekli değişkenlerin gruplardaki dağılımı Student t testi ve Tek yönlü ANOVA ile uymayanlar ise Mann-Whitney U ve Kruskal-Wallis testi ile değerlendirilmiştir. Anlamlı farkın kaynağını bulmak için tek yönlü ANOVA için Bonferronni testi, Kruskal-Wallis testi için ise Conover-Iman (1979) testi kullanılmıştır.
Ölçeklerin güvenirliği İç tutarlılık katsayısı Cronbach alfa (α) ve McDonald'ın alfa (ω) katsayısı ile değerlendirilmiştir.

IBM SPSS 21 (IBM SPSS Inc, Chicago, IL) paket programı ile veriler analiz edilmiştir. İstatistiksel anlamlılık seviyesi 0,05 olarak alınmıştır.

İç tutarlılık Güvenirlik Analizi Sonuçları

Ölçeğin güvenirliği; Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısı ve güvenirliğe faktör analizi perspektifinden bakan McDonald'ın (ω) alfa katsayısı ile incelenmiştir (Cho & Kim, 2015).

Algılanan Stres Ölçeği toplamı için Cronbach alfa katsayısı 0,873'tür. Algılanan Stres Ölçeği Rahatsızlık Algısı alt boyutu Cronbach alfa katsayısı 0,843 ve Algılanan Stres Ölçeği Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutu Cronbach alfa katsayısı 0,842'dir.

Güvenirliğe faktör analizi perspektifinden bakan yapısal güvenirlik (construct reliability) olarak adlandırılan McDonald'ın (ω) alfa katsayısı (Nunnally & Bernstein, 1994; McDonald, 1985) Algılanan Stres Ölçeği toplamı, Rahatsızlık Algısı ve Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutları için 0,878, 0,847 ve 0858 olarak elde edilmiştir.

Cronbach alfa katsayısı; Toplumsal Bütünleşme Anketi toplamı için 0,744, Ev katılımı bölümü alt boyutu için 0,801, Sosyal katılım için 0,506 ve Üretici aktivite için 0,036 olarak bulunmuştur.

McDonald'ın (ω) alfa katsayısı; Toplumsal Bütünleşme Anketi toplamı için 0,775, Ev katılımı alt boyutu için 0,818, Sosyal katılım için 0,566 ve Üretici aktivite için 0,037 olarak bulunmuştur.

Literatürde tavsiye edilen kesim noktalarına göre (0.65-0.80 acceptable and 0.80-1.00 highly reliable) Algılanan Stres Ölçeği Toplamı ve alt boyutlarına ait güvenirlik katsayılarının yüksek olduğu görülmüştür. Toplumsal Bütünleşme Anketi toplamı ve Ev katılımı alt boyutlarının kabul edilebilir ve yüksek güvenirlik katsayılarına sahip olduğu görülmüştür (Nunnally&Bernstein, 1994; Vaske, 2008).

BULGULAR

Çalışmaya dahil olan 76 katılımcının 64'ü (%84,2) kadın, 12'si (%15,8) erkek olup yaş ortalaması 21,64±3,35'tir (Tablo 1).

Tablo1. Sosyo-demoğrafik değişkenlerin dağılımı

N=76	**N**	**%**
Yaş Ort±Ss Medyan (Min-Maks)	21,64±3,35 21 (18-40)	
Cinsiyet		
Erkek	12	15,8
Kadın	64	84,2
Sınıf		
1	11	14,5
2	5	6,6
3	39	51,3

4	21	27,6
Yaşadığı yer		
yurtta	39	51,3
aile yanı	22	28,9
öğrenci evi	11	14,5
kendi evi	4	5,3
Gelir düzeyi		
gelir düzeyiniz gider düzeyinizden azdır	18	23,7
gelir düzeyiniz gider düzeyinize eşittir	48	63,2
gelir düzeyiniz gider düzeyinizden fazladır	10	13,2
Akademik başarı		
kötü	3	3,9
orta	52	68,4
iyi	21	27,6

Katılımcıların Algılanan Stres Ölçeği toplamı ortalaması 28,71±8,14 olarak bulunmuştur. %40,8 düşük düzeyde, %53,9 u orta düzeyde ve %5,3 ü yüksek düzeyde stres algıladıkları tespit edilmiştir. Katılımcıların Toplumsal Bütünleşme Anketi ev katılım ortalaması 4,5±2,26, sosyal katılım ortalaması 7,75± 2,19, üretici aktivite ortalaması 4,82±2,19, toplam ortalaması 17,08±4,18 olarak bulunmuştur.

Tablo2. Demografik değişkenlere göre Toplumsal bütünleşme ve Algılanan Stres Ölçeği dağılımlarının karşılaştırılması

	Rahatsızlık Algısı	**Yetersiz Özyeterlik Algısı**	**Algılanan Stres Toplam**	**Ev Katılım Boyut**	**Sosyal Katılım**	**Üretici Aktivite**	**Toplumsal bütünleşme Toplam**
Cinsiyet							
Erkek	15,50 (5-21)	15,50±4,70	31,50±8,02	3,88 (1-7,5)	7,83±2,17	5 (3-6)	16,65±2,66
Kadın	14 (7-28)	12,86±4,43	28,19±8,12	4 (0-10)	7,73±2,21	5 (1-7)	17,16±4,42
Test İstatistiği	U=322* p=0,376	t=1,878** p=0,064	t=1,299 p=0,198	U=340 p=0,528	t=0,142 p=0,887	U=356,50 p=0,681	t=0,392 p=0,696
Sınıf							
1	15 (8-20)	13,81±5,55	27,90±9,29	3,75 (1-8,75)	7,09±1,64	4 (1-6)	15,16±3,99
2	19 (11-28)	12,20±4,50	31,40±8,26	3,75 (3-7)	7,40±1,14	5 (5-6)	16,90±1,51
3	14 (7-26)	12,74±4,21	27,08±7,15	5 (1-10)	7,92±2,35	5 (3-7)	17,86±4,37
4	19 (5 -25)	14,24±4,73	31,52±8,89	3,75 (0-8,75)	7,86±2,39	5 (3-6)	16,68±4,17
Test İstatistiği	**χ2=8,403*** p=0,038**	F=0,628 p=0,599	F=1,615 p=0,193	χ2=3,229 p=0,358	F=0,459 p=0,712	χ2=5,186 p=0,159	F=1,317 p=0,276
Yaşadığı yer							
yurtta	15,13±5,17	12,77±3,90	27,89±7,81	4 (1-8,75)	7,36±2,02	5 (1-7)	16,31±3,28
aile yanı	16,22±4,96	13,77±5,43	30,00±8,45	3,75 (0-8,75)	7,64±2,26	5 (3-6)	15,98±4,15
öğrenci evi	15,09±5,11	14,55±5,09	29,64±9,77	6,25 (2,50-10)	9,00±2,57	4 (4-6)	20,09±4,90
kendi evi	15,00±2,71	12,00±4,24	27,00±6,32	7,88 (7-10)	8,75±1,50	5,50 (5-6)	22,44±3,45
Test İstatistiği	F=0,259 p=0,855	F=0,631 p=0,597	F=0,410 p=0,746	**χ2=20,805 p<0,001**	F=1,967 p=0,127	χ2=2,559 p=0,465	**F=6,068 p=0,001**
Gelir düzeyi							
gelir <gider	16,44±5,65	13,83±4,48	30,28±9,59	4,50 (0-7,50)	7,17±2,79	5 (3-6)	16,14±4,63

gelir=gider	15,67±4,58	14,08±4,02	29,75±7,17	4 (0-10,0)	7,77±1,96	5 (1-6)	17,00±4,16
gelir>gider	12,50±4,67	8,40±4,40	20,90±5,67	4,50 (2,50-8,75)	8,70±1,95	5 (4-7)	19,15±2,89
Test İstatistiği	F=2,265 p=0,111	**F=7,865 p=0,001**	**F=6,042 p=0,004**	χ2=0,467 p=0,494	F=1,595 p=0,210	χ2=1,703 p=0,192	F=1,722 p=0,186
Akademik							
kötü	20,00±8,00	16,33±8,08	36,33±9,01	4,58±2,13	6,00±1,00	5 (4-7)	15,91±2,74
orta	15,75±4,54	13,92±4,19	29,67±7,79	4,59±2,42	7,44±2,11	5 (1-6)	16,80±4,47
iyi	14,00±5,21	11,24±4,40	25,24±7,87	4,27±1,94	8,76±2,21	5 (3-6)	17,94±3,55
Test İstatistiği	F=2,351 p=0,102	**F=3,542 p=0,034**	**F=3,862 p=0,025**	F=0,145 p=0,865	**F=3,980 p=0,023**	χ2=0,119 p=0,730	F=0,669 p=0,515

*Mann-Whitney U testi test istatistik değeri
**Student's t testi test istatistik değeri
***Kruskall-Wallis testi test istatistik değeri
****One-way ANOVA testi test istatistik değeri
Anlamlılık seviyesi olarak 0,05 alınmıştır.

Tablo2'de Demografik değişkenlere göre Toplumsal bütünleşme ve Algılanan Stres Ölçeği dağılımlarının karşılaştırılma sonuçları görülmektedir.

Algılanan Stres Ölçeği Rahatsızlık Algısı alt boyutuna ait puan dağılımı sınıflar arasında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaşma meydana getirmiştir ($\chi2$=8,403, p=0,038). Anlamlı farkın kaynağını bulmak için çoklu karşılaştırma testi olarak Conover-Iman (1979) testi kullanılmış sonucunda dördüncü sınıfta öğrenim gören katılımcıların Rahatsızlık Algısı medyanı üçüncü sınıf medyanından anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (*p=0,014).*

Katılımcıların Yaşadıklara yerlere göre Toplumsal bütünleşme ölçeği Ev Katılım alt boyutu puan dağılımının istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaştığı görülmüştür ($\chi2$=20,805, p<0,001). Farkın kaynağı Conover-Iman (1979) testi ile incelenmiş sonucunda kendi evinde ve öğrenci evinde yaşayanların Ev Katılım medyanı (7,88 ve 6,25) aile yanında ve yurtta kalanların medyanından (3,75 ve 4) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (sırasıyla; *p=0,003, p=0,002 ve p<0,001).*

Katılımcıların Yaşadıklara yerlere göre Toplumsal bütünleşme ölçeği toplam puanına ait dağılımın istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaştığı görülmüştür (F=6,068, p=0,001). Anlamlı farkın kaynağını bulmak için çoklu karşılaştırma testi olarak Bonferroni testi kullanılmış sonucunda kendi evinde ve öğrenci evinde yaşayanların toplam puan ortalaması (22,44 ve 20,09) aile yanında ve yurtta kalanların ortalamasından (15,98 ve 16,31) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (sırasıyla; *p=0,010, p=0,004, p=0,011 ve p=0,004).*

Katılımcıların Gelir düzeyine göre Algılanan Stres Ölçeği Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutu puan dağılımının istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaştığı görülmüştür (F=7,8765, p=0,001). Yapılan Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonucunda geliri giderinden az ve eşit olanların Yetersiz Özyeterlik Algısı ortalaması (13,83 ve 14,08) geliri giderinden yüksek olanların ortalamasından (8,40) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (*p=0,005 ve p=0,001).*

Katılımcıların Gelir düzeyine göre Algılanan Stres Ölçeği toplam puanı dağılımının istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaştığı görülmüştür (F=6,042, p=0,001). Yapılan Bonferroni çoklu

karşılaştırma testi sonucunda geliri giderinden az ve eşit olanların Algılanan Stres Ölçeği toplam ortalaması (30,28 ve 29,75) geliri giderinden yüksek olanların ortalamasından (20,90) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (*p=0,008 ve p=0,004).*

Katılımcıların akademik başarı düzeyine göre Algılanan Stres Ölçeği Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutu puan dağılımının istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaştığı görülmüştür (F=3,542, p=0,034). Akademik başarı durumu kötü olanların Yetersiz Özyeterlik Algısı ortalamasının orta ve iyi olanlardan yüksek olduğu görülmektedir.

Katılımcıların akademik başarı düzeyine göre Algılanan Stres Ölçeği toplam puanı dağılımının istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaştığı görülmüştür (F=3,862, p=0,025). Akademik başarı durumu kötü olanların Algılanan Stres Ölçeği toplamı ortalamasının orta ve iyi olanlardan yüksek olduğu görülmektedir.

Katılımcıların akademik başarı düzeyine göre Toplumsal bütünleşme ölçeği Sosyal Katılım alt boyutu puan dağılımının istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılaştığı görülmüştür (F=3,980, p=0,023). Akademik başarı durumu iyi olanların Sosyal Katılım ortalamasının kötü ve orta olanlardan yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo3. Algılanan Stres Düzeyi Grubunda Toplumsal bütünleşme Ölçeği ve alt boyut puan dağılımlarının karşılaştırılması

	N (%)	**Ev Katılım Boyut** *(Medyan) (min-Max)*	**Sosyal Katılım** *(Ortalama ± SS)*	**Üretici Aktivite** *(Medyan) (min-Max)*	**Toplumsal bütünleşme Toplam** *(Ortalama ± SS)*
Algılanan Stres Düzeyi					
Yüksek	4 (%5,3)	3,12 (0-6,25)	6,50±3,79	4 (4-6)	14,13±7,15
Orta	41 (%53,9)	5 (2,50-8,75)	7,44±1,77	5 (1-7)	17,13±2,94
Düşük	31 (%40,8)	3,75 (0-10)	8,32±2,40	5 (3-6)	17,39±5,08
Test İstatistiği		χ2=5,063 p=0,080	F=2,176 p=0,121	χ2=1,104 p=0,576	F=1,093 p=0,341

Tablo3'te Algılanan Stres Düzeylerine göre Toplumsal bütünleşme Ölçeği ve alt boyut puan dağılımları karşılaştırılmıştır. Stres Düzeyi düşük grupta sosyal katılım (8,32±2,40), Üretici Aktivite (5 (3-6)) ve Toplumsal bütünleşme (17,39±5,08) puanlarının diğer gruplara göre yüksek olduğu ancak bu farklılaşmanın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür (sırasıyla; p=0,121, p=0,576 ve p=0,341).

Korelasyon Analizi sonuçları

Tablo 4. Toplumsal bütünleşme ölçeği toplamı ve alt boyutları ile Algılanan Stres Ölçeği toplamı ve alt boyutları arasındaki ilişki

N=76		Ev Katılım Boyut	Sosyal Katılım	Üretici Aktivite	Toplumsal bütünleşme Toplam
Algılanan Stres Ölçeği Toplam	r	,223*	-,190*	-,145*	-0,055**
	p	,053	,101	,211	0,635
Rahatsızlık Algısı	r	,214*	-,052*	-,031*	,067*
	p	,063	,652	,788	,568
Yetersiz Özyeterlik Algısı	r	,128*	-,263*	-,239*	-0,199**
	p	,269	**,022**	**,037**	0,085

*Spearman korelasyon katsayısı
**Pearson korelasyon katsayısı

Tablo4'te, Toplumsal bütünleşme ölçeği toplamı ve alt boyutları ile Algılanan Stres Ölçeği toplamı ve alt boyutları arasındaki ilişki sonuçları görülmektedir. Değişkenler arasındaki ilişkiler Pearson ve Spearman korelasyon analizi ile değerlendirilmiş korelasyon katsayılarının yorumu için "0,00-0,19 çok zayıf, 0,20-0,39 zayıf, 0,40-0,69 orta, 0,70-0,89 yüksek ve 0,90-1,00 çok yüksek ilişki" kesim noktaları kullanılmıştır (Alpar, 2012).

Algılanan Stres Ölçeği Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutu ile Toplumsal bütünleşme ölçeği Sosyal Katılım ve Üretici Aktivite alt boyutları arasındaki ilişki Spearman korelasyon analizi ile incelenmiş negatif yönlü zayıf düzeyde (rho=-0,263 ve rho=-0,239) istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmuştur (p=0,022 ve p=0,037). Algılanan Stres Ölçeği Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutu ile Toplumsal bütünleşme ölçeği toplamı arasında negatif yönlü zayıf düzeyde (rho=-0,199) ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan ilişki bulunmuştur (p=0,085).

Algılanan Stres Ölçeği toplamı ile Toplumsal bütünleşme ölçeği toplamı, Sosyal Katılım ve Üretici Aktivite alt boyutları arasında negatif yönlü çok zayıf düzeyde (sırasıyla; r=-0,055, rho=-0,190 ve rho=-0,145) ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan ilişki bulunmuştur (sırasıyla; p=0,635, p=0,101 ve p=0,211).

Algılanan Stres Ölçeği Rahatsızlık Algısı alt boyutu ile Toplumsal bütünleşme ölçeği Sosyal Katılım ve Üretici Aktivite alt boyutları arasında negatif yönlü çok zayıf düzeyde (rho=-0,052 ve rho=-0,031) istatistiksel olarak anlamlı olmayan ilişki bulunmuştur (p=0,652 ve p=0,788). Algılanan Stres Ölçeği Rahatsızlık Algısı alt boyutu ile Toplumsal bütünleşme ölçeği toplamı arasında ise pozitif yönlü çok zayıf düzeyde (rho=0,067) istatistiksel olarak anlamlı olmayan ilişki bulunmuştur (p=0,568).

Toplumsal bütünleşme ölçeği Ev Katılım alt boyutu ile Algılanan Stres Ölçeği toplamı, Rahatsızlık Algısı ve Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutları arasında pozitif yönlü zayıf ve çok zayıf düzeyde (sırasıyla; rho=0,223, rho=0,214 ve rho=0,128) istatistiksel olarak anlamlı olmayan ilişki bulunmuştur (sırasıyla; p=0,053, p=0,063 ve p=0,269).

TARTIŞMA

Bu çalışmada üniversite öğrencilerinin algıladıkları stres düzeyleri ile toplumsal katılımları arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmış ve elde edilen bulgular, stresin özellikle özyeterlik algısı boyutu üzerinden toplumsal katılım alanlarını etkileyebileceğini göstermiştir. Çalışmaya katılan öğrencilerin büyük çoğunluğunun orta düzeyde algılanan strese sahip olması, üniversite öğrencileriyle yapılan önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Üniversite yaşamı; akademik beklentiler, ekonomik zorluklar, gelecek kaygısı ve sosyal rollerin yeniden yapılandırılması gibi çok sayıda stresör içermektedir ve bu durum öğrencilerin stres algılarını artırabilmektedir (2,3,4).

Araştırma bulgularına göre algılanan stres düzeyi düşük olan öğrencilerin sosyal katılım, üretici aktivite ve toplam toplumsal bütünleşme puanlarının daha yüksek olduğu görülmüş, ancak bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum, stresin toplumsal katılım üzerinde doğrudan ve güçlü bir etkiden ziyade, aracı değişkenler yoluyla etkili olabileceğini düşündürmektedir. Özellikle üniversite öğrencilerinin genç yaş grubunda yer alması ve sosyal ağlarının görece geniş olması, stres düzeyleri yüksek olsa dahi toplumsal katılımlarını tamamen sınırlamamış olabilir. Benzer şekilde bazı çalışmalarda, stres ile sosyal katılım arasındaki ilişkinin zayıf veya dolaylı olduğu bildirilmektedir (4).

Çalışmanın dikkat çekici bulgularından biri, Algılanan Stres Ölçeği'nin Yetersiz Özyeterlik Algısı alt boyutu ile toplumsal bütünleşme ölçeğinin sosyal katılım ve üretici aktivite alt boyutları arasında saptanan negatif yönlü ve zayıf düzeyde anlamlı ilişkidir. Bu bulgu, bireyin kendini yetersiz ve kontrolsüz hissetmesinin, sosyal rollerini sürdürme ve üretken aktivitelerde yer alma isteğini azaltabileceğini düşündürmektedir (12). Literatürde özyeterlik algısının, bireyin stresle başa çıkma kapasitesi ve sosyal yaşama katılımı üzerinde belirleyici bir rol oynadığı vurgulanmaktadır (13). Düşük özyeterlik algısına sahip bireylerin stres karşısında daha pasif başa çıkma stratejileri kullandıkları ve sosyal geri çekilme eğilimi gösterebildikleri bildirilmektedir (14).

Algılanan stresin toplam puanı ile toplumsal bütünleşme toplam puanı arasında anlamlı bir ilişki saptanmamış olması, stresin her bireyde aynı işlevsel sonuçlara yol açmadığını göstermektedir. Bu bulgu, stresin bireysel değerlendirme, başa çıkma becerileri, sosyal destek ve çevresel faktörlerle birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ergoterapi bakış açısıyla değerlendirildiğinde, bireyin çevresiyle kurduğu etkileşim, rollerine yüklediği anlam ve günlük yaşam aktivitelerine katılım düzeyi, stresin işlevselliğe yansımasını belirleyen temel unsurlardır (15,16,10).

Demografik değişkenlere ilişkin bulgular incelendiğinde, gelir düzeyi ve akademik başarı değişkenlerinin algılanan stres üzerinde anlamlı etkilerinin olduğu görülmektedir. Geliri giderinden az veya eşit olan öğrencilerin algılanan stres ve yetersiz özyeterlik algısı puanlarının daha yüksek olması, ekonomik yetersizliklerin stres algısını artırdığına işaret etmektedir. Bu bulgu, üniversite öğrencilerinde ekonomik stresörlerin psikolojik iyilik hali üzerindeki olumsuz etkilerini gösteren önceki çalışmalarla uyumludur (2,4). Benzer şekilde akademik başarısı düşük olan öğrencilerin stres düzeylerinin daha yüksek olması, akademik taleplerin stres üzerindeki belirleyici rolünü desteklemektedir (3).

Yaşanılan yere göre toplumsal bütünleşme puanlarının farklılaşması da önemli bir bulgudur. Kendi evinde veya öğrenci evinde yaşayan öğrencilerin ev katılımı ve toplam toplumsal bütünleşme puanlarının daha yüksek bulunması, bağımsız yaşam becerilerinin ve sorumluluk almanın toplumsal katılımı artırabileceğini düşündürmektedir (5). Aile yanında veya yurtta kalan öğrencilerin ev içi rollere daha sınırlı katılım göstermeleri bu sonucu açıklayabilir. Bu durum, çevresel faktörlerin toplumsal katılım üzerindeki etkisini vurgulamakta ve birey-çevre-aktivite uyumunun önemini ortaya koymaktadır (15,16).

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Örneklemin tek bir üniversitenin ergoterapi bölümü öğrencilerinden oluşması, sonuçların genellenebilirliğini sınırlamaktadır. Ayrıca verilerin öz-bildirim yoluyla toplanması, yanıtlayıcı yanlılığı riskini beraberinde getirmektedir. Toplumsal Bütünleşme Anketi'nin bazı alt boyutlarında güvenirlik katsayılarının düşük olması da bulguların yorumlanmasında dikkatli olunması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, üniversite öğrencilerinde algılanan stresin özellikle özyeterlik algısı üzerinden sosyal katılım ve üretici aktivitelerle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, üniversite öğrencilerine yönelik stres yönetimi programlarının yalnızca stres düzeyini azaltmaya değil, aynı zamanda özyeterlik algısını güçlendirmeye ve toplumsal katılımı desteklemeye odaklanması gerektiğini düşündürmektedir. Ergoterapi temelli müdahalelerle öğrencilerin rollerini sürdürmeleri, üretken ve anlamlı aktivitelerde yer almaları desteklenerek hem psikolojik iyilik halleri hem de toplumsal bütünleşmeleri artırılabilir.

Kaynak

1) Erşan, E. E., Yıldırım, G., Doğan, O., & Doğan, S. (2013). Sağlık çalışanlarının iş doyumu ve algılanan iş stresi ile aralarındaki ilişkinin incelenmesi. *Anadolu Psikiyatri Dergisi*, *14*(2), 115-121.
2) Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of health and social behavior*, 385-396.
3) Kohn, J. P., & Frazer, G. H. (1986). An academic stress scale: Identification and rated importance of academic stressors. *Psychological reports*, *59*(2), 415-426.
4) Slimmen, S., Timmermans, O., Mikolajczak-Degrauwe, K., & Oenema, A. (2022). How stress-related factors affect mental wellbeing of university students A cross-sectional study to explore the associations between stressors, perceived stress, and mental wellbeing. *PloS one*, *17*(11), e0275925.
5) Dijkers, M. (1998). Community integration: conceptual issues and measurement approaches in rehabilitation research. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, *4*(1), 1-15.

6) Willer, B., Rosenthal, M., Kreutzer, J. S., Gordon, W. A., & Rempel, R. (1993). Assessment of community integration following rehabilitation for traumatic brain injury. *The Journal of head trauma rehabilitation*, *8*(2), 75-87.
7) Çetinkaya, S., Akyıldız, G., & Kazancı, B. A. (2025). Üniversite Öğrencilerinde Algılanan Stres Düzeyi ve Başarı Yönelimleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Simetrik İletişim Araştırmaları Dergisi*, *4*(1), 120-135.
8) Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of health and social behavior*, 385-396.
9) Eskin, M., Harlak, H., Demirkıran, F., & Dereboy, Ç. (2013, October). Algılanan stres ölçeğinin Türkçeye uyarlanması: güvenirlik ve geçerlik analizi. In *New/Yeni Symposium Journal* (Vol. 51, No. 3, pp. 132-140).
10) Dijkers, M. (1997). Measuring the long-term outcomes of traumatic brain injury: A review of the Community Integration Questionnaire. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, *12*(6), 74-91.
11) Akyurek, G., Salar, S., Bumin, G., & Kayihan, H. (2016). Turkish adaptation of the Community Integration Questionnaire (CIQ) and its validity and reliability in people with SCI. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *97*(10), e41-e42.
12) Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control* (Vol. 11). Freeman.
13) Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (1995). Generalized self-efficacy scale. *J. Weinman, S. Wright, & M. Johnston, Measures in health psychology: A user's portfolio. Causal and control beliefs*, *35*(37), 82-003.
14) Luszczynska, A., Scholz, U., & Schwarzer, R. (2005). The general self-efficacy scale: multicultural validation studies. *The Journal of psychology*, *139*(5), 439-457.
15) Law, M., Cooper, B., Strong, S., Stewart, D., Rigby, P., & Letts, L. (1996). The person-environment-occupation model: A transactive approach to occupational performance. *Canadian journal of occupational therapy*, *63*(1), 9-23.
16) Forsyth, K., & Kielhofner, G. (2003). Model of human occupation. *Perspectives in human occupation: Participation in life*, 45-86.

MULTIMODAL PHYSIOTHERAPY IN CANCER-RELATED LYMPHEDEMA

[1] Assala Obaid
Bolu Abant izzet Baysal University Institue of Health Science,
assalaobaid@gmail.com-0009-0008-5039-3881
[2] Prof. Dr.Özlem Çinar Özdemir
Bolu Abant izzet Baysal University
Faculty of Health Science, Department of Physiotherapy and Rehabilitation,
ozlemcinarozdemir@gmail.com,0000-0002-9205-5652

Summary

Cancer-related lymphedema is a chronic and function-limiting adverse effect of oncological treatments and significantly diminishes the quality of life of individuals in the post-treatment period. Its management relies predominantly on conservative interventions, with Complete Decongestive Therapy (CDT) recognized as the gold-standard conservative approach. CDT is a comprehensive, two-phase therapeutic protocol comprising manual lymphatic drainage (MLD), multilayer compression bandaging, therapeutic exercises, and meticulous skin care. The primary goals of this protocol are to reduce limb volume, regulate lymphatic fluid dynamics, and prevent secondary complications such as infection. Current literature indicates ongoing efforts to enhance the effectiveness of standard CDT through the integration of various adjunct therapeutic modalities. The combination of CDT with therapeutic ultrasound or low-frequency electrotherapy currents (e.g., Faradic current) has been reported to yield favorable outcomes, including reductions in limb volume, improvements in pain levels, and decreases in functional disability. Additionally, other modalities such as low-level laser therapy and intermittent pneumatic compression are considered promising adjuncts due to their potential to facilitate lymph flow and support tissue remodeling. However, long-term treatment success depends heavily on sustainable self-management strategies, which constitute a critical component of CDT. Self-management includes the regular use of well-fitted compression garments, adherence to prescribed therapeutic exercise programs, and the consistent implementation of skin care practices. Systematic reviews confirm that structured exercise programs are safe and effective, contributing to reductions in edema volume and improvements in functional capacity without exacerbating the condition. Furthermore, the response to compression-based physiotherapy is influenced by individual factors; for instance, higher body mass index and a history of radiotherapy have been identified as negative prognostic indicators for recovery. Therefore, contemporary lymphedema management necessitates a personalized, multimodal physiotherapy approach that integrates core CDT principles with evidence-based adjunctive therapies and places strong emphasis on patient education and lifelong self-care.

Keywords: Cancer-related lymphedema, Complete Decongestive Therapy (CDT), Compression Therapy.

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

KANSERLE İLİŞKİLİ LENFÖDEMDE MULTİMODAL FİZYOTERAPİ YAKLAŞIMLARI

[1] Assala Obaid
Bolu Abant izzet Baysal University Institue of Health Science,
assalaobaid@gmail.com-0009-0008-5039-3881

[2] Prof. Dr. Özlem Çinar Özdemir
Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü,
ozlemcinarozdemir@gmail.com, 0000-0002-9205-5652

ÖZET

Kanserle ilişkili lenfödem, onkolojik tedavilerin kronik ve işlevsel kapasiteyi azaltan önemli bir yan etkisi olup, tedavi sonrası dönemdeki bireylerin yaşam kalitesini ciddi şekilde olumsuz etkilemektedir. Bu durumun tedavisi ağırlıklı olarak konservatif müdahalelere dayanmakta olup, konservatif yaklaşımın altın standardı Kompleks Dekonjestif Terapi (KBF**)** olarak kabul edilmektedir. KBF; manuel lenfatik drenaj (MLD), çok katmanlı kompresyon bandajlama, terapötik egzersizler ve kapsamlı cilt bakımını içeren iki aşamalı bütüncül bir tedavi protokolüdür. Bu protokolün temel hedefi, etkilenen uzvun hacmini azaltmak, lenfatik sıvı dinamiklerini düzenlemek ve enfeksiyon gibi ikincil komplikasyonların gelişmesini önlemektir. Güncel literatür, standart KBF'nin etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli yardımcı tedavi modalitelerinin entegrasyonunun araştırıldığını göstermektedir. Terapötik ultrason ve düşük frekanslı elektroterapi akımlarının (örneğin Faradik akım) KBF ile birlikte uygulanmasının, ekstremite hacminde azalma, ağrı düzeyinde iyileşme ve fonksiyonel kısıtlılıkta azalma açısından etkin sonuçlar verebildiği rapor edilmiştir. Ayrıca düşük seviyeli lazer tedavisi ve aralıklı pnömatik kompresyon gibi diğer modalitelerin de lenf akışını artırma ve doku yeniden şekillenmesini destekleme potansiyeli nedeniyle umut verici ek müdahaleler olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte, uzun vadeli tedavi başarısı, KBF'nin kritik bir bileşenini oluşturan sürdürülebilir öz-yönetim stratejilerine bağlıdır. Öz-yönetim; bireyin kompresyon giysilerini düzenli olarak kullanmasını, önerilen fiziksel egzersiz programına uyum göstermesini ve cilt bakımını titizlikle sürdürmesini kapsamaktadır. Sistematik derlemeler, yapılandırılmış egzersiz programlarının güvenli ve etkili olduğunu; ödem hacminin azaltılmasına ve fonksiyonel kapasitenin artırılmasına katkı sağladığını doğrulamaktadır. Ek olarak, kompresyona dayalı fizyoterapiye verilen yanıtın bireysel faktörlerden etkilendiği, özellikle yüksek vücut kitle indeksi ve radyoterapi öyküsünün iyileşme üzerinde olumsuz prognostik belirleyiciler olduğu bildirilmektedir. Dolayısıyla güncel lenfödem yönetimi; temel KBF ilkelerini, kanıta dayalı yardımcı tedavilerle entegre eden, hasta eğitimini merkeze alan ve yaşam boyu öz-bakımı teşvik eden kişiselleştirilmiş, multimodal bir fizyoterapi yaklaşımını gerektirmektedir.

Anahtar kelimeler: Kanserle ilişkili lenfödem, Kompleks Boşaltıcı Terapi, Kompresyon Tedavisi.

1.INTRODUCTION

Breast cancer-related lymphedema (BCRL) represents a major chronic complication for survivors, profoundly impacting function and quality of life. While complex decongestive therapy remains a cornerstone of conservative management, research continues to explore and refine adjunctive rehabilitation techniques to optimize outcomes. Innovative approaches are increasingly focusing on addressing the multifaceted impairments that accompany lymphedema. As highlighted in an experimental study by Joshi et al. (2023), neural tissue mobilization (neurodynamics) has shown significant promise in reducing sensory-motor impairments, such as neuropathy and pain, in breast cancer survivors with lymphedema, offering benefits beyond conventional physiotherapy. Complementing this neuromuscular approach, Muñoz-Alcaraz et al. (2020) propose a novel protocol for Activity-Oriented Proprioceptive Antiedema Therapy (TAPA). This method integrates neurodynamic exercises, proprioceptive neuromuscular facilitation, and specialized bandaging, aiming to enhance occupational performance and cost-effectiveness compared to standard care. Together, these studies underscore a progressive shift in BCRL rehabilitation towards more targeted, multimodal strategies that address not just volume reduction but also the underlying neural dysfunction and functional limitations experienced by patients (1).

Breast cancer-related lymphedema (BCRL) remains a feared and chronic complication for survivors, imposing a significant lifelong burden. As highlighted in a comprehensive review by Donahue et al. (2023), current management revolves around complete decongestive therapy (CDT) as the conservative standard, while research continues to evolve, exploring adjunctive modalities like intermittent pneumatic compression (IPC) and photobiomodulation. Concurrently, alternative techniques such as Kinesio taping (KT) have gained interest due to their potential for improved patient comfort and ease of use. A direct comparative study by Pajero Otero et al. (2022) investigated these approaches, evaluating intensive complex physical therapy combined with IPC (CPT+IPC) against KT in a randomized cross-over trial. Their findings revealed a nuanced landscape: while CPT+IPC led to a greater reduction in arm volume, KT was associated with significantly higher patient satisfaction, better functional scores, and greater pain relief. This juxtaposition underscores the complex trade-offs in BCRL management, where volume reduction, a primary clinical goal, must be balanced against patient-reported outcomes such as comfort, functionality, and adherence. Together, these articles illustrate the ongoing refinement of therapeutic strategies, emphasizing the need for personalized treatment plans that integrate effective decongestion with interventions that enhance quality of life and long-term self-management (2).

(BCRL) represents a well-documented and debilitating chronic complication for survivors, driving extensive research into its prevention and management. As highlighted in a comprehensive review, current strategies encompass early surveillance, patient education, advanced surgical techniques like LYMPHA, and the enduring standard of complete decongestive therapy. This multifaceted approach underscores a shift towards proactive, personalized care to mitigate a lifelong burden. In parallel, lymphedema is a formidable challenge for survivors of gynecological cancers, who frequently develop lower limb involvement (LLL) with similarly profound impacts on quality of life. A contemporary study

protocol by Decorte et al. (2024) directly addresses this gap by investigating the efficacy of prophylactic compression garments (class II) to prevent the progression of early-stage LLL. Together, these articles highlight the critical importance of early detection and intervention across different cancer populations (3). They illustrate a convergent theme in oncology survivorship care: moving beyond reactive treatment to implement structured, evidence-based preventive strategies. This evolution aims not only to reduce the clinical incidence of lymphedema but also to alleviate its significant physical, psychological, and economic toll on patients (3).

Head and neck lymphedema (HNL) is a prevalent yet frequently underdiagnosed consequence of oncological treatment for head and neck cancer, with incidence rates varying widely. It arises from damage to lymphatic channels due to tumor obstruction, surgical resection, or radiotherapy. HNL adversely impacts both physical function—contributing to dysphagia, airway compromise, and musculoskeletal issues—and psychosocial well-being, affecting body image and quality of life. Consequently, early detection and effective management are critical to mitigating these burdens and reducing associated healthcare costs (4).

Current rehabilitation strategies, particularly in physical therapy, often center on complete decongestive therapy (CDT) as a standard, incorporating manual lymphatic drainage, compression, and exercises. Emerging modalities such as advanced pneumatic compression devices, kinesio taping, and photobiomodulation also show promise. However, despite growing interest, significant limitations persist in the evidence base. Existing reviews are often constrained by methodological heterogeneity, inclusion of low-quality studies, or outdated literature, and there remains no consensus on optimal intervention parameters. This highlights a pressing need for rigorous, up-to-date synthesis to guide effective HNL management (4).

2. METHOD

This review synthesizes findings from scientific studies sourced by the user. A systematic search of electronic databases, including Google Scholar, PubMed, was conducted for literature using keywords such as "Lymphedema," "Complete Decongestive Therapy," "Compression Garments," "Kinesio Taping," and "Electrotherapy." The identified studies were categorized thematically, with each treatment method including its study design, application protocol, assessment techniques, and physical/clinical outcomes analyzed in detail yet concisely. The evaluation primarily focused on the following therapeutic approaches: complex decongestive therapy (CDT), compression garments and bandaging, kinesio taping with lymphatic correction techniques, and low-frequency electrotherapy.

2.1. Complete Decongestive Therapy (CDT)

This publication is a comprehensive review article titled "Advances in the prevention and treatment of breast cancer-related lymphedema," not a new clinical trial. Therefore, it does not involve a specific number of participants of its own. Instead, it analyzes and synthesizes findings from dozens of previously published studies and clinical trials. The authors followed a critical review methodology by gathering and evaluating current scientific evidence, comparing the effectiveness of prevention strategies (such as early surveillance and preventive surgeries) and treatment approaches (like complete decongestive therapy and reconstructive surgeries), and deriving recommendations based on this aggregated evidence (5).

The review concluded that Complete Decongestive Therapy (CDT) remains the gold standard for non-surgical treatment, with proven effectiveness in reducing edema volume by 29-47%. However, evidence indicated that compression garments alone might be sufficient for some patients, highlighting the need for personalized treatment selection. The therapy faces challenges related to high costs and long-term adherence difficulties. The review also highlighted the success of preventive surgical techniques in reducing incidence rates and noted that reconstructive surgical options (such as lymphovenous anastomosis) can improve quality of life. The main challenge identified was the lack of standardized measures for diagnosing and monitoring the condition, which hinders the comparison of results across different studies and slows progress in the field (5).

2.2. Compression Garments as a Preventive Measure

The Gynolymph study employs a hybrid design, combining a prospective observational cohort study with an embedded randomized controlled trial (RCT). The target is to enroll 400 women newly diagnosed with gynecological cancer before or within 14 days of starting curative therapy into the observational cohort for a 2-year follow-up. From this cohort, an estimated 196 patients who develop early-stage lower limb lymphedema (Stage 0-1) within the first post-treatment year will be recruited into the RCT. They will be randomly assigned to one of two groups: the intervention group receiving standard care plus prophylactic compression class 2 garments (23-32 mmHg), and the control group receiving standard care alone. The study is multi-center, conducted in two Belgian university hospitals (6).

As this is a study protocol, final results are not yet available and are expected around 2027-2028. The primary outcome for the observational part is the incidence rate of lymphedema within two years. The primary outcome for the RCT is to assess whether compression garments prevent progression to higher-stage lymphedema. Secondary outcomes include identifying risk factors, evaluating the impact on quality of life and sexuality, and assessing patient tolerance and costs. Recruitment began in June 2022. As of the protocol publication, 71 patients were enrolled in the observational cohort, and only 4 in the interventional RCT arm, with full recruitment targeted for 2025-2026 (6).

2.3. Neural Tissue Mobilization vs. Conventional Physiotherapy

This experimental study involved 100 breast cancer survivor women (aged 30-65) with upper limb lymphedema following surgery and adjuvant therapy. Participants were randomly divided into two equal groups for a 6-week intervention. The intervention group received a protocol of neural tissue mobilization targeting the upper limb, while the control group received conventional physiotherapy consisting of interferential therapy and free active range-of-motion exercises. Key outcomes, including pain (Visual Analogue Scale), shoulder range of motion (flexion/abduction), and sensory-motor impairments (Modified Total Neuropathy Score, mTNS), were assessed at baseline and after the 6-week treatment period (7).

The results demonstrated that neural tissue mobilization was significantly more effective than conventional therapy in improving sensory-motor impairments. The intervention group showed a highly significant reduction in the total mTNS score, while the improvement in the control group was not statistically significant. Both groups experienced significant and similar reductions in pain and improvements in shoulder range of motion. A secondary finding was that patients with mild to moderate lymphedema showed greater improvement compared to those with severe lymphedema. The study concludes that neural tissue mobilization is a

valuable intervention for addressing the sensory-motor complications in breast cancer survivors with lymphedema.

2.4. CDT with Electrotherapy for Superior Outcomes in Lymphedema Management

This randomized clinical trial included 39 female patients with unilateral breast cancer-related lymphedema. Participants were divided into three equal groups (n=13 each) to receive different 10-session interventions: the control group received Complex Decongestive Therapy (CDT) alone; the ultrasound group received CDT plus therapeutic ultrasound; and the faradic group received CDT plus faradic current stimulation. Key outcomes measured before and after treatment were arm volume (via water displacement), circumference at five points, pain intensity, and functional disability.

The results showed that all three groups experienced significant improvements. However, the combined therapy groups (CDT+ultrasound and CDT+faradic) demonstrated significantly greater reduction in lymphedema volume, pain, and functional disability compared to the CDT-only group. Notably, the reduction in arm circumference did not differ significantly between the groups. The study concluded that augmenting standard CDT with electrotherapy modalities (ultrasound or faradic current) leads to superior outcomes in volume reduction, pain relief, and functional improvement for patients with breast cancer-related lymphedema (8).

2.5.Aqua therapy

The systematic review included 430 cancer patients from 12 studies, predominantly females (378 women, 52 men), aged between 18 and 78 years. The most common cancer types were breast cancer (52%), gynecological cancers (28%), colorectal cancer (10%), and mixed cancer entities (10%). The water-based interventions varied widely and included aquatic lymphatic therapy (ALT), deep-water aerobic and stretching exercises, foot baths, and whole-body baths. These therapies were primarily administered as complementary treatments alongside conventional cancer therapies such as surgery, chemotherapy, or endocrine therapy. The duration of interventions ranged from eight weeks to three months, aiming to alleviate cancer- or treatment-related symptoms like lymphedema, pain, fatigue, and reduced quality of life.

The outcomes reported across the studies were highly heterogeneous and of moderate methodological quality, with several studies exhibiting risks of bias. Some studies indicated significant improvements in lymphedema reduction, pain relief, fatigue, anxiety, and quality of life, while others found no statistically significant differences. Notably, active aquatic exercises showed occasional benefits, whereas passive hydrotherapies like foot baths yielded inconsistent results. Adverse effects were rare and generally mild, such as temporary edema or fatigue. The review concluded that due to methodological limitations and varying results, no definitive statement can be made regarding the efficacy of water therapies for cancer patients. However, they may serve as a supportive complementary option, particularly active aquatic exercises, under professional guidance and considering individual contraindications (9).

3. CONCLUSION

Physiotherapy forms the essential foundation of modern lymphedema care through a proven, multi-component approach. This includes Manual Lymphatic Drainage (MLD) to stimulate fluid movement, compression therapy using bandages or garments to maintain reduction, prescribed therapeutic exercises to support muscle pump function and joint mobility, and meticulous skincare to prevent infections.

These core techniques are increasingly enhanced by evidence-based modalities such as low-level laser therapy to reduce fibrosis and improve tissue healing, and therapeutic ultrasound to soften hardened areas. These adjunct tools do not replace traditional methods but are integrated into personalized treatment plans to improve outcomes.

The true effectiveness of lymphedema management lies in this integrated approach. A skilled physiotherapist combines hands-on techniques, patient education, and modern technology to create a sustainable, personalized program. This comprehensive strategy addresses the complex nature of lymphedema, aiming for long-term edema control, restored function, and improved quality of life.

5. REFERENCES

1-Muñoz-García, M. T., Bartolomé-Moreno, C., Oliván-Blázquez, B., & Magallón-Botaya, R. (2020). Efficacy and efficiency of a new therapeutic approach based on activity-oriented proprioceptive antiedema therapy (TAPA) for edema reduction and improved occupational performance in the rehabilitation of breast cancer-related arm lymphedema in women: a controlled, randomized clinical trial. BMC Cancer, 20, Article 1074

2-Pajero Otero, V., García Delgado, E., Martín Cortijo, C., Rodríguez Ramos, M. L., De Carlos Iriarte, E., Gil García,A., Romay-Barrero, H., & Avendaño-Coy, J. (2022). Intensive complex physical therapy combined with intermittent pneumatic compression versus Kinesio taping for treating breast cancer-related lymphedema of the upper limb: A randomised cross-over clinical trial. European Journal of Cancer Care, 31(5), e13625

3-Decorte, T., Van Besien, V., Van Calster, C., Vanden Bossche, L., Randon, C., Devoogdt, N., & Monten, C. (2024Addition of prophylactic compression garments to standard care to prevent irreversible lower limb lymphoedema after gynaeco-oncological therapy (Gynolymph): Protocol for a randomised controlled trial embedded within an observation cohort study. BMJ Open, 14(10)

4-Postigo-Martín, P., & Lopez-Garzon, M. (2025). Lymphedema management in patients with head and neck cancer: a systematic review of randomized controlled trials on physical therapy interventions. Supportive Care in Cancer, 33(5), 420.

5-Donahue, P. M. C., MacKenzie, A., Filipovic, A., & Koelmeyer, L. (2023). Advances in the prevention and treatment of breast cancer-related lymphedema. Breast Cancer Research and Treatment, 200, 1–14.

6-Decorte, T., Van Besien, V., Van Calster, C., Vanden Bossche, L., Randon, C., Devoogdt, N., & Monten, C. (2024). Addition of prophylactic compression garments to standard care to prevent irreversible lower limb lymphoedema after gynaeco-oncological therapy (Gynolymph): Protocol for a randomised controlled trial embedded within an observation cohort study.

7-Joshi, D., Shah, S., Shinde, S. B., & Patil, S. (2023). Effect of neural tissue mobilization on sensory-motor impairments in breast cancer survivors with lymphedema: An experimental study. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 24(1), 313–319.

8-Hemmati, M., Rojhani-Shirazi, Z., Zakeri, Z. S., Akrami, M., & Salehi Dehno, N. (2022). The effect of the combined use of complex decongestive therapy with electrotherapy modalities for the treatment of breast cancer-related lymphedema: A randomized clinical trial. BMC Musculoskeletal Disorders, 23, 837.

9. Maren Reger 1, Sabine Kutschan 2, Maren Freuding 2, Thorsten Schmidt 3, Lena Josfeld 2, Jutta Huebner (2022). Water therapies (hydrotherapy, balneotherapy or aqua therapy) for

patients with cancer: a systematic review. J Cancer Res Clin Oncol, Jun;148(6):1277-1297. doi: 10.1007/s00432-022-03947-w.

LYMPHEDEMA ASSESSMENT METHODS

[1] Hagar Mahmoud Ali ABOUSHEISHAA
Bolu Abant izzet Baysal University Institue of Health Science,
Hagrmahmoud008@gmail.com-0009-000-1698-3898
[2] Prof. Dr. Özlem ÇİNAR ÖZDEMİR
Bolu Abant izzet Baysal University
Faculty of Health Science, Department of Physiotherapy and Rehabilitation,
ozlemcinarozdemir@gmail.com,0000-0002-9205-5652

SUMMARY

Lymphedema is a chronic and progressive disease caused by the accumulation of protein-rich fluid in the interstitial space. Accurate and comprehensive assessment is crucial for guiding physiotherapy interventions and mitigating long-term complications. Contemporary evaluation frameworks integrate traditional clinical methods with advanced quantitative and imaging technologies to capture the multidimensional nature of the condition. Conventional tools such as circumferential measurements, volumetry, and palpation provide initial information on edema distribution and tissue consistency, while modern modalities offer more detailed insights into lymphatic structure and function. Advanced imaging techniques, including lymphoscintigraphy, ultrasonography, MRI, CT, and near-infrared lymphangiography, enable precise visualization of lymphatic pathways, dermal backflow, and anatomical abnormalities. Bioimpedance spectroscopy adds further diagnostic value by detecting subtle extracellular fluid changes before overt swelling becomes clinically evident. Collectively, these techniques support a structured comparative framework for evaluating fluid accumulation, tissue changes, lymphatic flow dynamics, and associated functional limitations. Beyond physiological assessment, lymphedema evaluation also requires attention to its broader psychosocial consequences. Validated instruments such as the LYMQoL, HADS and FSFI systematically capture the impact on emotional well-being, body image, social participation, sexual health, and daily functioning. This multidimensional approach enhances risk stratification, diagnostic precision, treatment planning, and monitoring of therapeutic outcomes. Emerging innovations, including automated analytic systems and machine-learning-based interpretation, hold promise for improving diagnostic consistency and enabling personalized clinical pathways within physiotherapy practice.

Keywords : Lymphedema, Measurement, Electric impedance, Assessment.

LENFÖDEM DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

[1] Hagar Mahmoud Ali ABOUSHEISHAA
Bolu Abant izzet Baysal Üniversitesi
Hagrmahmoud008@gmail.com-0009-000-1698-3898
[2] Prof.Dr. Özlem ÇİNAR ÖZDEEMİR
Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü,
ozlemcinarozdemir@gmail.com, 0000-0002-9205-5652

ÖZET

Lenfödem, protein açısından zengin sıvının interstisyel aralıkta birikmesiyle ortaya çıkan, kronik ve ilerleyici bir hastalıktır. Bu süreç, giderek artan ödem, doku yeniden yapılanması ve işlevsel kısıtlılıklarla sonuçlanır. Uzun dönem komplikasyonların önlenmesi ve fizyoterapi temelli müdahalelerin doğru yönlendirilmesi için kapsamlı ve doğru bir değerlendirme büyük önem taşır. Güncel değerlendirme yaklaşımları, hastalığın çok boyutlu yapısını ortaya koymak amacıyla geleneksel klinik yöntemleri niceliksel ölçümler ve ileri görüntüleme teknolojileriyle birleştirir. Çevresel ölçümler, volumetri ve palpasyon gibi klasik yöntemler ödem dağılımı ve doku özellikleri hakkında temel bilgiler sunarken, modern görüntüleme teknikleri lenfatik yapı ve fonksiyona ilişkin daha ayrıntılı veriler sağlar. Lenfosintigrafi, ultrasonografi, MRG, BT ve yakın kızılötesi lenfanjiyografi gibi ileri görüntüleme modaliteleri, lenfatik yolların, dermal geri akım paternlerinin ve yapısal anormalliklerin yüksek hassasiyetle değerlendirilmesine olanak tanır. Biyoempedans spektroskopisi ise görünür ödem oluşmadan önce hücre dışı sıvıdaki ince değişiklikleri belirleyerek erken tanıya katkı sağlar. Bu teknikler, sıvı birikimi, doku değişiklikleri, lenfatik akım dinamikleri ve işlevsel etkilerin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini destekleyen yapılandırılmış bir çerçeve oluşturur. Fizyolojik bulguların yanı sıra, lenfödemin yaşam kalitesi, psikolojik durum ve cinsel işlev üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi de gereklidir. LYMQoL , HADS and FSFI gibi doğrulanmış ölçekler; duygusal yük, beden algısı, sosyal katılım, cinsel sağlık ve günlük işlevsellik üzerindeki etkileri sistematik biçimde ortaya koyar. Ayrıca gelişen otomatik analiz sistemleri ve makine öğrenimi tabanlı yorumlama teknikleri, tanısal tutarlılığı artırarak fizyoterapi pratiğinde daha kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarına olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Lenfödem, Ölçüm, Elektriksel empedans, Değerlendirme.

1.INTRODUCTION

Lymphedema is a chronic and progressive condition characterized by the abnormal accumulation of protein-rich interstitial fluid resulting from impairment of the lymphatic system's ability to transport lymph effectively. This dysfunction leads to localized or generalized swelling, most commonly affecting the extremities, and may significantly impair physical function, quality of life, and long-term health outcomes. From a rehabilitation and physical therapy perspective, lymphedema represents a complex condition requiring early identification, accurate diagnosis, and continuous monitoring to guide timely and effective intervention (1).

Clinically, lymphedema is traditionally classified into three stages based on the severity of swelling and the extent of tissue changes. Stage I is characterized by reversible swelling, in which edema is typically soft and subsides with limb elevation, and no permanent structural tissue alterations are present. Stage II is marked by persistent swelling that does not resolve readily with elevation and is associated with progressive and irreversible tissue changes, including fibrosis. Stage III, also referred to as lymphostatic elephantiasis, represents the most advanced stage, in which severe swelling, extensive fibrotic changes, skin thickening, and functional impairment are evident. Accurate staging is essential in physical therapy practice, as it directly influences treatment planning, intensity of intervention, and long-term management strategies (1).

The diagnosis and quantitative assessment of lymphedema constitute an area of active and evolving research, driven by multiple clinical priorities. These priorities include early detection of subclinical disease, confirmation of diagnosis and underlying pathophysiology, anatomical localization of lymphatic dysfunction, guidance of therapeutic intervention, and ongoing surveillance of disease severity and response to treatment. For physical therapists, particularly those involved in oncologic and lymphatic rehabilitation, reliable diagnostic tools are critical for establishing baselines, monitoring progression, and evaluating treatment efficacy over time (2).

The clinical utility of any diagnostic or measurement technique depends on adherence to established empirical standards, including reliability, validity, diagnostic accuracy, precision, and sensitivity to change. In addition, feasibility considerations are particularly important in routine physical therapy practice and include factors such as cost, time efficiency, space requirements, level of clinician training, personnel demands, patient safety, and patient acceptance. Balancing measurement accuracy with clinical practicality remains a central challenge in the management of lymphedema (2). In the context of cancer-related lymphedema, increasing emphasis has been placed on prospective surveillance and early intervention models of care. These models align closely with physical therapy principles, emphasizing prevention, early functional restoration, and long-term self-management. However, diagnostic complexity is heightened in oncology populations, where differential diagnosis may be required to distinguish between benign and malignant lymphedema, lymphedema and neuromusculoskeletal or soft tissue conditions producing overlapping regional symptoms, and lymphedema versus other causes of limb swelling such as venous insufficiency, lipedema, or systemic comorbidities (1,2).

Lymphedema prevalence is particularly striking among survivors of head and neck cancer, with reported incidence rates approaching 90%. Despite this high prevalence, recent large-scale analyses of United States healthcare claims databases indicate that lymphedema in this population remains significantly underdiagnosed and undertreated. This gap highlights a critical need for increased awareness, improved diagnostic strategies, and integration of quantitative assessment techniques into standard clinical practice, particularly within rehabilitation and physical therapy settings that serve diverse and growing populations of individuals living with lymphedema (1,2).

Regarding detection and surveillance protocols, the literature consistently emphasizes the importance of obtaining baseline preoperative or pretreatment measurements whenever feasible. Equally important is the use of a consistent measurement modality during longitudinal follow-up, rather than interchanging different assessment methods, to ensure accurate detection of change over time. From a physical therapy standpoint, standardized baseline and follow-up assessments form the foundation of evidence-based intervention planning and outcome evaluation (1,2).

Overall, lymphedema diagnosis remains an evolving field focused on enhancing early detection, accurate classification, and effective monitoring of disease progression and response to therapy. Despite its high prevalence, particularly among cancer survivors, diagnosis continues to be challenged by heterogeneous clinical presentations and variability in clinical practice patterns. Current evidence supports the integration of comprehensive clinical examination with objective quantitative measures, recognizing that no single diagnostic tool is sufficient in isolation. Consequently, multimodal diagnostic approaches are increasingly recommended. This paper provides an overview of established and emerging diagnostic and quantitative modalities for lymphedema assessment, with particular emphasis on their relevance and application within physical therapy practice (1,2).

2. METHOD

This review was conducted as a focused narrative review of the available methods used for the assessment of lymphedema. Electronic databases were searched using the keywords lymphedema, measurement, electrical impedance, and evaluation through Google Scholar, PubMed, and Scopus. The retrieved articles were organized into thematic categories, and each assessment method was analyzed in detail, taking into account its application protocols, measurement techniques, and clinical relevance to physical therapy practice. The evaluation primarily focused on the following approaches: clinical examination and staging; circumferential and volumetric measurements (including tape measurement, water displacement, and volumetry); bioelectrical impedance and electrical tissue constant; intraocular pressure measurement; three-dimensional imaging; ultrasound; computed tomography; magnetic resonance imaging; and near-infrared lymphatic imaging, as well as assessments related to quality of life, mental health, and sexuality.

Clinical evaluation of lymphedema relies heavily on history and physical examination, encompassing symptom onset, risk factors, comorbidities, mobility, and relevant social and family background. Inspection focuses on characteristic skin and soft-tissue changes such as pitting, firmness, fibrosis, thickening, erythema, and more advanced findings like hyperkeratosis, lipodermatosclerosis, papillomatosis, and elephantiasis. Palpation is used to

assess fibrosis, tissue mobility, and the degree of pitting, although standardized grading criteria remain limited. Key physical signs include Stemmer's sign in the lower limbs and axillary cording after lymph node dissection. Several staging systems classify disease severity (3,4).

Tape-measure circumferential and volumetric assessments remain the most widely used and extensively studied clinical methods for evaluating lymphedema, though they are limited by interrater variability and low sensitivity for subclinical disease. Significant change is often defined as ≥2 cm at a single site or ≥5 cm across multiple sites, with volumetric calculations particularly the frustum method providing greater accuracy (4). Evidence shows that landmark-based measurements are more reliable and sensitive than fixed-interval methods when compared with perometry. Despite strong correlation with water displacement, the two methods are not interchangeable. Clinical guidelines support using volume ratios and side-to-side differences rather than single-point measurements. Tape measurement is inexpensive and accessible but requires standardized protocols and does not assess tissue composition (5).

Water displacement is a valid, accurate, and reliable method for volumetric assessment, offering greater precision than tape measurement, particularly in research settings. However, its clinical use is limited due to practical barriers: the method is cumbersome, non-portable, time-consuming, requires adequate space, and carries a risk of cross-contamination (5). Accuracy can also be affected if limb submersion depth is inconsistent, and the technique cannot localize specific areas of enlargement or reliably assess regions near the limb root. Despite these limitations, clinical guidelines give water displacement a Grade B recommendation, using thresholds of >200 ml or >10% interlimb volume difference (6).

Perometry uses an infrared scanning frame to rapidly assess limb circumference and calculate volume, offering high reliability, ease of repeat measurement, and fine resolution at 0.5-cm increments. It correlates well with circumferential tape measures and bioimpedance spectroscopy and can assist in compression-garment fitting. However, limitations include device expense, lack of portability, need for dedicated space, and challenges with positioning particularly for hands, feet, and patients who cannot maintain consistent posture. Although perometry may detect swelling earlier than tape measurement or palpation, it cannot distinguish extracellular fluid from changes in muscle or fat. As with water displacement and tape measures, it should not be used as the sole method for lymphedema assessment (7,8).

Bioimpedance measures electrical impedance to assess fluid compartments and body composition, aiding lymphedema diagnosis. Multi-frequency methods (MFBIA, BIS) provide more detailed data than single-frequency devices, with BIS uniquely incorporating 0 kHz and generating impedance ratios or L-Dex scores to detect subclinical swelling. BIS is noninvasive, sensitive, reliable, and effective for early detection of extracellular fluid changes, though device cost and reduced accuracy in severe obesity are limitations. Stand-on systems exist, and BIS currently has the strongest evidence and widest clinical use (8).

Tissue dielectric constant (TDC) provides a portable, focal, noninvasive measure of superficial skin-to-fat water content to help detect localized edema, with values comparable to the contralateral site or expressed as percent water content. It offers rapid assessment on any body region and shows growing evidence for early detection of breast lymphedema. Limitations include its shallow measurement depth (0.5–5 mm), inability to assess whole-limb edema, variable normative values, and limited evidence across lymphedema stages. While not a standalone tool, TDC is useful for identifying focal superficial fluid changes (9).

Tonometry measures tissue resistance to applied pressure, providing a quick, portable, and reliable estimate of tissue firmness that may reflect fibrosis or treatment response. Modern devices offer feedback for measurement accuracy and automated averaging. However, readings can be affected by ambient conditions, are difficult to reproduce consistently, and lack robust normative data or clarity on changes across lymphedema stages. Although promising for assessing fibrosis and monitoring treatment effects, further research is needed to confirm its clinical utility (10).

3D imaging provides fast, noninvasive, and reliable limb and torso volume and circumference measurements for baseline and longitudinal lymphedema assessment. It offers high data density, portability, and better interrater accuracy than tape measures, but remains costly, often requires software subscriptions, and still needs optimization for hands, feet, head, and neck. Like perometry, it is limited in capturing “tight” circumferential data required for custom compression garment fitting, and further research is needed to refine whole-body measurement accuracy (11).

Lymphoscintigraphy is the primary diagnostic test for confirming lymphedema, providing functional visualization of lymphatic flow with high sensitivity (97%) and specificity (100%). It involves Tc-99m injections into the interdigital web space followed by sequential imaging to assess delayed tracer transit, dermal backflow, asymmetric nodal uptake, or collateral channel formation. The technique demonstrates strong intra- and interrater reliability in breast-cancer–related lymphedema. Limitations include cost, low spatial resolution, grainy planar images, radiation exposure, and lengthy testing. SPECT-CT enhances spatial detail and staging accuracy by combining functional and anatomical imaging, though its high cost limits routine use (12).

Ultrasound is advocated to improve lymphedema staging because it objectively visualizes skin and subcutaneous tissue changes not evident on physical exam. It can identify connective-tissue hypertrophy, fat deposition, and protein-rich fluid accumulation, helping determine disease severity and distribution. Skin thickness, subcutaneous thickness, and echogenicity correlate positively with ISL stage. Studies report acceptable interrater reliability and accuracy, though variability exists in small samples. Ultrahigh-frequency ultrasound shows strong correlation with histology, supporting its use in planning lymphovenous anastomosis. While portable and suitable for point-of-care use, ultrasound requires operator expertise and appropriate equipment (13).

Computed tomography is valuable for assessing limb swelling, providing objective volume measurements and detailed visualization of epidermal and subcutaneous changes in lymphedema. It can identify lymphatic-obstructing neoplasms and shows high diagnostic sensitivity (93%) and specificity (100%). Characteristic findings include skin thickening and a honeycomb pattern of edema from fibrotic tissue, fluid, and fat deposition. CT also reveals lymph-node number and size, aiding classification of primary lymphedema. However, due to cost and radiation exposure, CT is not routinely used solely for lymphedema evaluation (14).

Photoacoustic Imaging (PAI): PAI can visualize lymphatic vessels and lymph flow. Superficial lymphatic vessels are particularly visible (approximately0.2 mm resolution) (15).

* Its ability to distinguish from blood vessels (veins) makes it very useful in surgicalplanning (e.g., lymphatic-venous anastomosis – LVA). It does not use ionizing radiation, making it a safe method (15).

Near-Infrared Lymphatic Imaging Indocyanine Green Lymphography (ICG-L) and NIR Fluorescence Lymphatic Imaging (NIRF-LI) use intradermal ICG to visualize superficial lymphatics (1–4 cm depth), showing anatomy, lymphatic pumping, and pathological dermal backflow absent in healthy limbs and highly sensitive for subclinical lymphedema. These techniques enable early diagnosis, evaluation of conservative and surgical treatments, and detection of dysfunction before visible swelling. NIRF-LI can reveal dermal backflow months prior to clinical onset and track treatment-related improvements. While limited for deep lymphatics, they detect dysfunction even when lymphoscintigraphy is normal, supporting earlier physiotherapy intervention (15).

Magnetic Resonance Imaging (MRI) provides high-resolution 3D anatomical and molecular imaging, enabling precise evaluation of limb volume, skin and adipose thickening, and tissue composition. Techniques such as Dixon MRI quantify water–fat asymmetry, and MR lymphangiography (tracer or non-tracer) visualizes lymphatic structures, although standardized protocols are limited. Emerging methods like sodium MRI and edema-sensitive sequences can guide individualized physiotherapy strategies. Despite cost and limited availability, MRI offers superior spatial resolution, molecular specificity, and functional assessment, supporting therapy monitoring and risk stratification (16).

Psychosocial Assessment in Lymphedema

Comprehensive evaluation includes emotional, social, and sexual dimensions. Validated instruments LYMQoL, HADS and FSFI capture the broader impact of lymphedema, enhancing diagnostic accuracy, treatment planning, and monitoring within physiotherapy practice. Automated analytic systems and machine-learning tools may further improve personalized care pathways.

Lymphedema quality of life questionnaire (LYMQOL)

The LYMQoL assesses health-related quality of life in upper- and lower-limb lymphedema, covering:

- Symptoms and appearance: discomfort, heaviness, pain, cosmetic concerns
- Function: daily activities, mobility, social/occupational participation
- Mood: emotional effects such as anxiety or frustration
- Social interaction: stigma, withdrawal, interpersonal changes

Higher scores indicate better well-being. In physiotherapy, LYMQoL quantifies functional limitations and monitors responses to interventions like manual lymphatic drainage, compression therapy, and exercise.(17)

Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS)

The Hospital Anxiety and Depression Scale screens for anxiety (HADS-A) and depression (HADS-D), avoiding somatic symptom overlap. Scores: 0–7 normal, 8–10 borderline, 11–21 clinically significant. HADS quantifies emotional burden, guiding physiotherapists in integrating mental health support into care plans (18).

Female Sexual Function Index (FSFI)

The Female Sexual Function Index evaluates six domains: desire, arousal, lubrication, orgasm, satisfaction, and pain. Scores below the cutoff indicate dysfunction. FSFI helps physiotherapists address sexual health issues related to lymphedema, supporting holistic rehabilitation (19).

3.CONCLUSION

Lymphedema assessment requires a multimodal approach, as no single method is sufficient for accurate diagnosis or monitoring. Optimal evaluation combines clinical examination, objective measurements, advanced imaging, and patient-reported outcome measures to improve early detection and individualized physiotherapy planning.

Clinical assessment remains foundational, while quantitative tools and emerging technologies enhance detection of volume changes, subclinical edema, and tissue alterations. Advanced imaging further supports functional and anatomical evaluation of the lymphatic system. Equally important, psychosocial and sexual health measures capture quality-of-life impacts. Together, this integrated strategy enables effective, patient-centered, and comprehensive lymphedema care.

REFERENCES

1. O'Donnell TF Jr, Rasmussen JC, Sevick-Muraca EM. New diag- nostic modalities in the evaluation of lymphedema. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord. 2017;5(2):261–73..

2. Levenhagen K, Davies C, Perdomo M, Ryans K, Gilchrist L. Diagnosis of upper quadrant lymphedema secondary to cancer: clinical practice guideline from the oncology sec- tion of the American physical therapy association. Phys Ther. 2017;97(7):729–45.

3. Pappalardo M, Starnoni M, Franceschini G, Baccarani A, DeSantis G. Breast cancer-related lymphedema: recent updates on diagnosis, severity and available treatments. J Pers Med. 2021;11(5):402

4. Fife CE, Farrow W, Hebert AA, Armer NC, Stewart BR, Cormier JN, Armer JM. Skin and wound care in lymphedema patients: a taxonomy, primer, and literature review. Adv Skin Wound Care. 2017;30(7):305–18.

5. Johnson KC, Kennedy AG, Henry SM. Clinical measurements of lymphedema. Lymphat Res Biol. 2014;12(4):216–21.

6. 27. Hidding JT, Viehoff PB, Beurskens CH, van Laarhoven HW, Nijhuis-van der Sanden MW, van der Wees PJ. Measurement properties of instruments for measuring of lymphedema: system- atic review. Phys Ther. 2016;96(12):1965–81.

7. Perdomo M, Levenhagen K, Davies C, Ryans K. Assessment measures of secondary lymphedema in breast cancer survivors. Rehabil Oncol. 2014;32(1):22–35

8. Price KL, Earthman CP. Update on body composition tools in clinical settings: computed tomography, ultrasound, and bioimpedance applications for assessment and monitoring. Eur J Clin Nutr. 2019; 73:187–93.

9.Mayrovitz HN, Weingrad DN, Davey S. Tissue dielectric con- stant (TDC) measurements as a means of characterizing localized tissue water in arms of women with and without breast cancer treatment related lymphedema. Lymphology. 2014;47(3):142–50.

10. Chen Y-W, Tsai H-J, Hung H-C, Tsauo J-Y. Reliability study of measurements for lymphedema in breast cancer patients. Am J Phys Med Rehabil. 2008;87(1):33–8.

11. Rumbo-Rodríguez L, Sánchez-SanSegundo M, Ferrer-Cascales R, García-D'Urso N, Hurtado-Sánchez JA, Zaragoza-Martí A. Comparison of body scanner and manual anthropometric meas- urements of body shape: a systematic review. Int J Environ Res Public Health. 2021;18:6213.

12. Weber E, Aglianò M, Bertelli E, Gabriele G, Gennaro P, Barone V. Lymphatic collecting vessels in health and disease: a review of histopathological modifications in lymphedema. Lymphat Res Biol. 2022;20(5):468–77
13. Ricci V, Ricci C, Gervasoni F, Giulio C, Farì G, Andreoli A, Özçakar L. From physical to ultrasound examination in lymphedema: a novel dynamic approach. J Ultrasound. 2022.
14.Ricci V, Ricci C, Gervasoni F, Giulio C, Farì G, Andreoli A, Özçakar L. From physical to ultrasound examination in lymphedema: a novel dynamic approach. J Ultrasound. 2022.
15.Abbaci M, Conversano A, De Leeuw F, Laplace-Builhé C, Mazouni C. Near-infrared fluorescence imaging for the preven- tion and management of breast cancer-related lymphedema: a systematic review. Eur J Surg Oncol. 2019;45:1778–86.
16. Crescenzi R, Donahue PMC, Garza M, Lee CA, Patel NJ, Gon- zalez V, Jones RS, Donahue MJ. Elevated magnetic resonance imaging measures of adipose tissue deposition in women with breast cancer treatment-related lymphedema. Breast Cancer Res Treat. 2022;191(1):115–24.
17. Rima Nuwayhid , Mary Lee Warg, Simon Heister, Stefan Langer and Torsten Schulz,Translation, Cross-Cultural Adaptation and Validation of the Lymphedema Quality of Life Questionnaire (LYMQOL) in German-Speaking Patients with Lymphedema of theLower Limbs.Healthcare 2024, 12, 409.
18. Karen L. Smarr, Autumn L. Keefe, Measures of Depression and Depressive SymptomsBeck Depression Inventory-Il (BDI-II), Center for Epidemiologic Studies Depression Scale (CES-D), Geriatric Depression Scale (GDS), Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS), and Patient Health Questionnaire-9 (PHQ-9),Arthritis Care&Research ,2011
19. Ana-Maria Cristina Daescu1,2,5, Liana Dehelean2*, Dan-Bogdan Navolan3, Gheorghe Nicusor Pop4 andDana Liana Stoian5, Psychometric properties of the Romanianversion of the female sexual function index(FSFI-RO), BMC Women's Health (2023) 23:528

SEPSİSİN TANISINDA YENİLİKLER: BİYOBELİRTEÇLERDEN YAPAY ZEKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Meliha Fındık
Balıkesir Üniversitesi,
melihafndk@gmail.com - 0000-0002-7570-4200

ÖZET

Sepsis, özgül olmayan bulgularla başlayabilmesi, hızla ağırlaşabilmesi ve yüksek mortalite riski nedeniyle acil serviste tanısı güç ancak zaman açısından kritik bir klinik sendromdur. Enfeksiyonun steril inflamasyondan ayrımındaki güçlük, kültür-negatif olgular, komorbidite yükü ve eşzamanlı organ disfonksiyonu tanısal belirsizliği artırarak antibiyotik tedavisi, hemodinamik resüsitasyon ve kaynak kontrolü gibi yaşam kurtarıcı müdahalelerin gecikmesine yol açabilmektedir. Bu derleme, 2024–2025 literatürü odağında sepsis tanısındaki güncel yaklaşımları; biyobelirteçlerin seri ölçümlerle dinamik değerlendirilmesi, omik teknolojilerle konak yanıtının çok katmanlı profillenmesi, konak yanıtına dayalı hızlı moleküler testlerin (örn. SeptiCyte® RAPID) klinik ayrımın güçleştiği durumlarda karar desteğinde kullanımı ve elektronik sağlık kayıtlarından elde edilen verilerle vital bulgu ile laboratuvar trendlerini bütünleştiren yapay zekâ/makine öğrenimi temelli erken uyarı sistemleri çerçevesinde ele almaktadır. Ayrıca bu yaklaşımların erken risk saptama ve klinik karar desteğine olası katkıları; dış doğrulama ve genellenebilirlik, alarm yükü, açıklanabilirlik, etik-yönetişim gereksinimleri ve klinik iş akışına entegrasyon gibi sınırlılıklar üzerinden tartışılmaktadır. Mevcut kanıtlar, seri klinik veriyi hızlı moleküler ve omik bilgilerle birleştiren çok modlu stratejilerin tanısal belirsizliği azaltma ve erken risk tabakalaştırmasını güçlendirme açısından umut vadeden bir yönelim olduğunu düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sepsis; acil servis; erken tanı; biyobelirteçler; omik teknolojiler; hızlı moleküler testler; yapay zeka

1. GİRİŞ

Sepsiste mortaliteyi belirleyen temel unsurlardan biri, enfeksiyon ve organ disfonksiyonunun erken dönemde tanınması ve tedavinin zamanında başlatılmasıdır. Bununla birlikte acil servis pratiğinde tanısal süreç; özgül olmayan klinik bulgular, ileri yaş ve komorbidite yükü, immünsüprese hastalarda atipik prezentasyonlar ve doğrulayıcı laboratuvar/mikrobiyolojik sonuçların gecikmesi nedeniyle sıklıkla belirsizlik taşır [1]. Bu belirsizlik iki yönlüdür. Bir yandan kan kültürlerinin liberal kullanımının düşük tanısal verim ve kontaminasyon riskiyle ilişkili olabileceği; yanlış-pozitif sonuçlar üzerinden gereksiz antibiyotik maruziyetine ve antimikrobiyal yönetim açısından olumsuz sonuçlara yol açabileceği bildirilmiştir [2]. Buna ek olarak, sepsiste kültür-negatifliğin anlamlı bir orana ulaşabildiği ve bunun klinik karar vermeyi zorlaştırdığı güncel literatürde tartışılan temel sorunlar arasındadır [3]. Öte yandan kültür-negatif olası sepsisin belirgin bir hasta oranını temsil edebilmesi, klinisyenin "kanıta dayalı doğrulama" ile "klinik zorunluluk" arasında denge kurmasını güçleştiren kritik bir ikilem yaratır.

Tanısal doğrulamadaki bu yapısal güçlükler, sepsis tanısındaki yeniliklerin odağını "tek bir belirteç" ya da "tek bir test" arayışından uzaklaştırmış; farklı biyolojik eksenleri temsil eden çoklu veri akışlarının birlikte değerlendirildiği entegre karar destek yaklaşımlarını ön plana çıkarmıştır. Güncel yaklaşım, sepsisi yalnızca enfeksiyon varlığı üzerinden değil; enfeksiyon olasılığı, olası etken spektrumu ve erken klinik kötüleşme riski eksenlerinde eşzamanlı olarak ele almayı gerektirir [4]. Bu çerçevede konak yanıtını transkriptomik düzeyde değerlendiren hızlı testlerin (örn. SeptiCyte® RAPID) sepsisi enfeksiyon dışı sistemik inflamasyondan ayırmada tamamlayıcı katkı sağlayabileceği, ancak heterojen popülasyonlarda performansın alt gruplara göre değişebileceği bildirilmiştir [5]. Benzer şekilde acil servis bağlamında 29-mRNA temelli host-response sınıflayıcıların bakteriyel/viral ayrım ve 30 günlük mortalite öngörüsü açısından potansiyel sinyaller sunduğu raporlanmaktadır [6]. Hızlı patojen/direnç saptama testlerinin klinik faydasının ise, sonuçların antimikrobiyal yönetim programlarıyla eyleme dönüştürüldüğü ve klinik karar algoritmalarına entegre edildiği senaryolarda daha belirgin olduğu vurgulanmaktadır [7]. Son olarak, elektronik sağlık kayıtlarından beslenen yapay zekâ tabanlı erken uyarı modellerinin erken risk saptamasına katkı sağlayabileceğine dair veriler artmakla birlikte; dış doğrulama, genellenebilirlik ve uygulama bariyerleri güncel sistematik kanıtlar ışığında önemini korumaktadır [8,9].

Bu derleme, 2024–2025 literatürü odağında sepsis tanısındaki güncel yenilikleri; biyobelirteçler, hızlı patojen/direnç testleri, konak yanıtı temelli transkriptomik yaklaşımlar ve yapay zekâ tabanlı erken uyarı sistemleri ekseninde sentezlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca bu yaklaşımların acil servis iş akışında tanısal belirsizliği azaltma, erken risk tabakalaştırması sağlama ve antimikrobiyal kararların rasyonelleştirilmesine katkı potansiyeli, mevcut kanıtların sınırlılıklarıyla birlikte tartışılacaktır.

2. SEPSİS TANI YÖNTEMLERİ

2.1. Sepsis Tanısında Biyobelirteçler

Biyobelirteçler, sepsiste konak yanıtının şiddeti (inflamasyon/immün aktivasyon), endotel–mikrodolaşım etkilenimi ve organ disfonksiyonunu farklı biyolojik eksenlerde yansıtarak tanısal belirsizliği azaltma ve erken risk tabakalaştırmasını destekleme potansiyeli taşır. Bununla birlikte sepsisin klinik ve biyolojik heterojenliği; ileri yaş, immünsüpresyon, çoklu komorbidite, enfeksiyon odağı farklılıkları ve eşlik eden organ disfonksiyonları (özellikle renal disfonksiyon) nedeniyle, tek bir biyobelirtecin tüm alt gruplarda tutarlı performans göstermesini sınırlar. Bu nedenle güncel yaklaşım, biyobelirteçleri "tek başına tanı koydurucu" araçlar olarak değil; klinik değerlendirme ile birlikte, seri ölçümler (kinetik) ve gerektiğinde seçilmiş ek belirteçlerle desteklenen bir karar destek katmanı olarak konumlandırmaktadır [4].

Klinik pratikte en yaygın kullanılan belirteçler CRP ve prokalsitonindir (PCT). Bu testler hızlı ve erişilebilir olmakla birlikte, özgüllükleri sınırlıdır; klinik bağlamdan bağımsız yorumlandıklarında ayırıcı güçleri azalır. Acil servis popülasyonunda PCT'ye ilişkin güncel bir sistematik derleme/meta-analiz, tanısal performansın orta düzeyde kaldığını; PCT'nin tek başına sepsisi dışlama/doğrulama amacıyla kullanılmasının uygun olmayabileceğini ve bulguların ön-test olasılığı ile seri ölçümler ışığında daha anlamlı hale geldiğini bildirmiştir [10]. Bu çerçevede CRP/PCT çoğu olguda "temel katman"ı oluştururken, belirsizliğin yüksek olduğu klinik senaryolarda ek biyobelirteçlerle desteklenen yaklaşımlar daha rasyonel görünmektedir.

Presepsin (sCD14-ST), doğal immün yanıtın erken fazını yansıtması nedeniyle acil servis/yoğun bakım triyajında yardımcı bir belirteç adayıdır. Ancak presepsin düzeyleri renal disfonksiyon gibi klinik değişkenlerden etkilenebildiğinden, tek zamanlı ölçümlerin aşırı yorumlanması sakıncalı olabilir; bu nedenle klinik bağlam içinde ve mümkünse dinamik değişim üzerinden değerlendirilmesi önerilmektedir [4]. 2024–2025 literatüründe öne çıkan eğilimlerden biri, presepsinin kompozit panellere entegre edilmesidir. Luo ve ark. (2025), presepsin–HE4–oksijenasyon indeksi bileşenlerinden oluşan PHO panelinin tekil belirteçlere kıyasla daha yüksek ayırt edicilik gösterebildiğini ve ROC analizinde AUC = 0.892'ye ulaştığını raporlamıştır [11,12]. Bu tür paneller, sepsisi yalnızca "enfeksiyon var/yok" ikiliğinin ötesinde, fizyolojik şiddet sinyalleriyle birlikte değerlendirmeye imkân verebilir; ancak klinik yararın gösterilmesi için bağlam-özgü doğrulama gerektirir.

Hücresel aktivasyon ekseninde nötrofil CD64 (nCD64), enfeksiyonla ilişkili immün yanıtın bir göstergesi olarak dikkat çekmektedir. Mevcut kanıtlar, nCD64'ün tek başına tanı koydurmaktan ziyade, klinik belirsizliğin yüksek olduğu durumlarda risk katmanlamasını destekleyen yardımcı bir biyobelirteç olarak daha uygun bir role sahip olabileceğini düşündürmektedir [13].

Öte yandan sepsiste organ disfonksiyonunun patofizyolojisinde endotel disfonksiyonu ve mikrodolaşım bozukluğu belirleyici olduğundan, bu ekseni temsil eden belirteçlerin klinik değeri çoğu zaman tanıdan çok **erken kötüleşme riski ve prognoz ayrımı** bağlamında belirginleşir. Bu kapsamda MR-proADM ve angiopoietin-2 (Ang-2) gibi endotel odaklı belirteçlerin mortalite ile ilişkilendirildiği; klinik şiddet değerlendirmesi ve seri ölçümlerle birlikte ele alındığında daha rasyonel biçimde konumlandırılabileceği bildirilmiştir [14,15].

Heparin-binding protein (HBP) için de benzer şekilde, güncel sistematik derleme/meta-analizler tanısal ve prognostik kullanıma ilişkin olumlu sinyaller bildirmekle birlikte, bulguların heterojen olabildiğini ve klinik algoritmalara entegrasyonun standardize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır [16]. Hücre dışı DNA (cfDNA) da hücresel hasar ve NETosis gibi süreçlerle

ilişkili olarak sepsiste yükselebilir ve organ yetmezliği şiddeti ile mortalite riskiyle ilişkilendirilebilir; ancak rutin kullanımı için yöntemsel standardizasyon ve yorumlama çerçevesinin netleşmesi gerekmektedir [17,18]. MikroRNA (miRNA) temelli belirteçler teorik olarak güçlü bir potansiyel taşısa da, platform farklılıkları, standardizasyon sorunları ve dış doğrulama gereksinimi klinik uygulanabilirliği sınırlayan başlıca bariyerlerdir [19,20].
Tam kan sayımından türetilen NLR, PLR ve sistemik inflamasyon indeksi (SII) gibi kompozit indeksler, düşük maliyet ve hızlı erişilebilirlik nedeniyle acil servis iş akışında ölçeklenebilirlik avantajı sağlar. Bununla birlikte özgüllükleri sınırlı olduğundan, en uygun kullanım alanı tek başına tanı koymak değil; risk taraması/triyaj ve klinik şüpheyi destekleyici bir katman oluşturmaktır. NLR ve SII'nin özellikle prognoz ve mortalite öngörüsünde yararlılığına işaret eden güncel meta-analiz ve kohort verileri, bu indekslerin "erken risk ayrımı" perspektifinde değerlendirilebileceğini düşündürmektedir [21,22]. Genel olarak biyobelirteçlerin klinik değeri, tek ölçüme kıyasla seri ölçümlerle artma eğilimindedir; bu nedenle tanısal yaklaşımda mutlak değerlerin yanı sıra zaman içindeki değişim (artış/azalış, klirens) ve klinik gidişat ile birlikte yorumlama önerilmektedir [23].

2.2. Omik Teknolojileri ve Konak Yanıtı Temelli Tanı Yaklaşımları

Sepsiste tanısal güçlük, yalnızca "patojeni saptamak" ile sınırlı değildir. Benzer klinik prezentasyonlar, hastalar arasında değişebilen biyolojik yanıt programları üzerinden (hiperinflamasyon, immünsupresyon/immünparalizi, endotel disfonksiyonu, koagülopati, metabolik yeniden programlama) ilerleyebilir. Bu nedenle güncel literatür, sepsisi tek bir kültür sonucu ya da tekil biyobelirteç üzerinden açıklamak yerine, konak yanıtının çok boyutlu profili ve moleküler imzaları üzerinden anlamlandırmayı hedefleyen omik yaklaşımları—özellikle kan transkriptomik host-response imzalarını—biyolojik heterojenliği yakalamaya yönelik bir "üst çerçeve" olarak ele almaktadır [20,24].

Transkriptomik temelli stratejiler pratikte iki ana doğrultuda gelişmektedir. İlk doğrultuda, çok kohortlu/çok merkezli veri setlerinin entegrasyonu ile endo/fenotipleme yapılarak tekrarlanabilir biyolojik alt tiplerin tanımlanması amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım, biyobelirteç performansındaki alt grup farklılıklarına biyolojik bir açıklama zemini sağlayabilir ve risk tabakalaştırması ile tedavi yanıtı etkileşimini araştırmaya olanak tanır [25–28]. İkinci doğrultu ise klinik uygulanabilirliğe odaklanan, sınırlı sayıda gen üzerinden skor üreten hedeflenmiş gen panelleri ve point-of-care (POC) testlerdir; amaç, yüksek boyutlu omik bilginin acil/yoğun bakım iş akışına uyumlu, hızlı ve yorumlanabilir çıktılara dönüştürülmesidir [5].

Bununla birlikte proteomik, metabolomik ve epigenomik yaklaşımlar inflamasyon, endotel hasarı ve metabolik stres eksenlerini eşzamanlı karakterize edebilse de; klinik entegrasyonun önündeki başlıca bariyerler platformlar arası standardizasyon, örnekleme zaman penceresi, dış doğrulama ve maliyet/iş akışı uyumu olarak öne çıkmaktadır [20]. Dolayısıyla omik çıktının "klinik fayda"ya dönüşebilmesi, testin hangi karar noktasını hangi zaman penceresinde destekleyeceğinin (örn. triyaj, antibiyotik yönetimi, yakın izlem/YBÜ ihtiyacı) önceden tanımlandığı prospektif doğrulama tasarımlarını ve sağlam validasyon çerçevelerini gerektirir [30].

2.3 Septicyte® RAPID ve Konak Yanıtı Temelli Moleküler Tanı Yaklaşımları

Konak yanıtı temelli moleküler testler, patojeni doğrudan saptamaya dayalı yöntemleri tamamlayarak, enfeksiyona yanıt sırasında oluşan gen ekspresyon örüntülerinden türetilen skorlarla sepsis olasılığına ilişkin ek bilgi üretmeyi hedefler. SeptiCyte® RAPID, periferik kandan seçilmiş genlerin ekspresyonuna dayalı bir skor aracılığıyla kısa sürede sınıflandırma yapmayı amaçlayan, klinik uygulamaya yakın örneklerdendir [31]. Klinik olarak en olası kullanım alanı, enfeksiyon ve enfeksiyon dışı sistemik inflamasyon ayrımının güçleştiği bağlamlarda (örn. postoperatif inflamasyon, travma, immünsüpresyon, kültür-negatif olası sepsis) belirsizliği azaltmaya yönelik tamamlayıcı bir katman sağlamasıdır.

SeptAsTERS prospektif gözlemsel çalışmasında, majör abdominal cerrahi sonrası klinik kötüleşme gelişen ve kan kültürü alınan 61 hastada SeptiCyte® RAPID uygulanmış; olgular kör uzman değerlendirmesiyle "sepsis" ve "inflamasyon" olarak sınıflandırılmıştır. Sepsis grubunda SeptiScore'un başlangıçta (T0) ve 24. saatte (T24) daha yüksek olduğu; ayırt edici performansın T0 için AUC = 0.71 iken T24'te AUC = 0.80'e yükseldiği bildirilmiştir [29]. Bu bulgular, dinamik inflamatuvar süreçlerde seri değerlendirme yaklaşımının ayrım gücünü artırabileceğine işaret eder; ancak örneklem büyüklüğü ve bağlam özgüllüğü nedeniyle sonuçların genellenebilirliği sınırlı olabilir.

Bu nedenle host-response testlerinin klinik konumlandırması, tek bir ölçümle "kesin tanı" koydurmaktan ziyade; klinik değerlendirme, rutin biyobelirteçler ve mikrobiyolojik testlerle birlikte yorumlandığında tanısal belirsizliği azaltabilen tamamlayıcı bir karar destek bileşeni olarak ele alınması yönündedir [5,29]. Ayrıca heterojen popülasyonlarda performansın demografik/klinik değişkenlere göre farklılaşabileceğine ilişkin veriler, bağlama özgü kullanım algoritmalarının ve dış doğrulama çalışmalarının gerekliliğini gündeme getirmektedir [5]. Klinik uygulamada belirleyici unsur, test çıktısının hangi karar düğümünü hangi zaman penceresinde destekleyeceğinin açık biçimde tanımlanmasıdır. Bu koşullar sağlandığında SeptiCyte® RAPID benzeri testler, standardize edilmiş algoritmalar içinde "entegre tanısal yaklaşımın" bir bileşeni olarak değerlendirilebilir [29].

2.4 Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi Modelleri

YZ/ML tabanlı erken uyarı sistemleri, çok boyutlu klinik veriyi (EHR, vital bulguların trendleri, laboratuvar dinamikleri, süreç verileri) eşzamanlı analiz ederek sepsise ilişkin risk artışını klinik olarak belirginleşmeden önce saptamayı hedefler. Literatürde birçok model için ayırt edicilik performansı raporlanmış olmakla birlikte, klinik etkinliğin yalnızca AUROC gibi özet metriklerle değil; uyarının klinik iş akışında tanımlı bir eyleme bağlanması ve bu eylemin ölçülebilir çıktılara yansımasıyla ortaya çıktığı vurgulanmaktadır [32,33].

Güncel metodolojik kanıtlar, gerçek zamanlı sepsis tahmin modellerinde temel sorunun validasyon heterojenliği ve genellenebilirlik olduğunu göstermektedir. Geliştirme kohortlarında iyi görünen performans; kurumlar arası bakım süreçleri, veri kalitesi, hasta karması ve sepsis tanım/etiketleme farklılıkları nedeniyle dış ortamlara taşındığında değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle dış doğrulama, model- ve sonuç düzeyi metriklerin birlikte raporlanması ve önyargı kaynaklarının sistematik biçimde ele alınması klinik benimseme için ön koşul olarak değerlendirilmektedir [34]. Raporlama standartları da bu noktada önem kazanır; TRIPOD+AI, ML tabanlı klinik tahmin modellerinde şeffaf raporlama ve metodolojik tutarlılığı güçlendirmeyi amaçlayan güncel bir çerçeve sunmaktadır [35].

Uygulamada ikinci kritik başlık, uyarı yükü ve alarm yorgunluğudur. Yanlış pozitif uyarılar klinisyen bilişsel yükünü artırabilir, gereksiz tetkik/antibiyotik kullanımını tetikleyebilir ve zamanla uyarılara duyarsızlaşmaya yol açabilir. Bu nedenle model değerlendirmesi; AUROC'ye ek olarak pozitif prediktif değer, eyleme dönüşen uyarı oranı, tedavi zamanlamasına etkiler ve olası zararları (örn. gereksiz antibiyotik maruziyeti) kapsayan daha bütüncül bir çerçevede yapılmalıdır [4,30].

Üçüncü olarak açıklanabilirlik ve yönetişim (etik, veri gizliliği, algoritmik önyargı, popülasyon kayması) klinik güvenlik açısından belirleyicidir. Modelin "neden uyardığını" anlaşılır biçimde sunması klinisyen güvenini destekleyebilir; ancak bu tek başına yeterli değildir. Performansın zaman içinde izlenmesi, güncelleme stratejileri ve yerel iş akışına uyumun yönetildiği bir denetim çerçevesi gereklidir [36,37].

Son dönemde öne çıkan eğilim, yalnızca EHR verisine dayalı modeller yerine multimodal hibrit yaklaşımlara yönelimdir. Biyobelirteç panelleri, hızlı moleküler testler ve host-response çıktılarının klinik verilerle aynı karar mimarisinde birleştirilmesi, heterojen popülasyonda daha bütüncül risk değerlendirmesi sağlayabilir. Bununla birlikte klinik faydanın gösterilmesi; prospektif doğrulama, yerel dış doğrulama ve eylem algoritmalarıyla entegrasyonun birlikte test edilmesini gerektirir [8,30,38]. Düzenleyici/klinik yönetişim perspektifinden alandaki uygulama örneklerinin artması olgunlaşmaya işaret etse de güvenli genelleme ve sürdürülebilir performans izlemi gerekliliklerini daha görünür hale getirmektedir [39].

3. SONUÇ

Bu derleme, 2024–2025 literatürü ışığında sepsis tanısındaki yeniliklerin "tek belirteç/tek test" paradigmasından giderek uzaklaştığını ve biyobelirteçler, hızlı patojen/direnç testleri, host-response (transkriptomik) imzalar ile EHR tabanlı YZ/ML modellerinin entegre karar destek yaklaşımları içinde birlikte ele alınmasına yönelik bir eğilimin öne çıktığını ortaya koymaktadır. Host-response testleri, klinik ayrımın güçleştiği bağlamlarda olasılık güncellemesini destekleyebilecek tamamlayıcı bir katman sunarken; YZ/ML sistemleri erken risk artışını saptamaya yönelik potansiyel sağlamaktadır. Bununla birlikte klinik faydanın gösterilebilmesi için dış doğrulama, yerel iş akışına entegrasyon, alarm yükü ve istenmeyen sonuçların (ör. gereksiz antibiyotik maruziyeti) sistematik olarak yönetilmesi gereklidir. Bu bağlamda, çıktıları önceden tanımlı klinik karar düğümlerine bağlanan ve prospektif etki değerlendirmeleriyle desteklenen multimodal stratejiler, sepsis yönetimine translasyon için en tutarlı çerçevelerden biri olarak görünmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Evans, L., Rhodes, A., Alhazzani, W., Antonelli, M., Coopersmith, C.M., French, C., et al. (2021) Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock 2021. *Intensive Care Medicine*. 47 (11), 1181–1247.

[2] Van Der Zaag, A.Y., Bhagirath, S.C., Boerman, A.W., Schinkel, M., Paranjape, K., Azijli, K., et al. (2024) Appropriate use of blood cultures in the emergency department through

machine learning (ABC): study protocol for a randomised controlled non-inferiority trial. *BMJ Open*. 14 (5),.

[3] Chang, Y., Oh, J.H., Oh, D.K., Lee, S.Y., Hyun, D.G., Park, M.H., et al. (2024) Culture-negative sepsis may be a different entity from culture-positive sepsis: a prospective nationwide multicenter cohort study. *Critical Care*. 28 (1),.

[4] He, A., Xu, L., and Yang, S. (2025) Opinion on "Artificial intelligence in sepsis early prediction and diagnosis using unstructured data in healthcare." *Frontiers in Immunology*. 16.

[5] Balk, R., Esper, A.M., Martin, G.S., Miller, R.R., Lopansri, B.K., Burke, J.P., et al. (2024) Validation of SeptiCyte RAPID to Discriminate Sepsis from Non-Infectious Systemic Inflammation. *Journal of Clinical Medicine*. 13 (5),.

[6] Tong-Minh, K., van Leeuwen, L., Ramakers, C., Chen, U.I., Liesenfeld, O., Gommers, D., et al. (2025) A 29-mRNA host response test to identify bacterial and viral infections and to predict 30-day mortality in emergency department patients with suspected infections: A prospective observational cohort study. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*. 111 (3),.

[7] Peri, A.M., Chatfield, M.D., Ling, W., Furuya-Kanamori, L., Harris, P.N.A., and Paterson, D.L. (2024) Rapid Diagnostic Tests and Antimicrobial Stewardship Programs for the Management of Bloodstream Infection: What Is Their Relative Contribution to Improving Clinical Outcomes? A Systematic Review and Network Meta-analysis. *Clinical Infectious Diseases*. 79 (2), 502–515.

[8] Abbas, G.H., Sen, P., Giri, O.A., and Khan, N.H. (2025) Artificial Intelligence-Based Predictive Modeling for Early Detection of Sepsis in Hospitalized Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Critical Care Explorations*. 7 (12), e1360.

[9] Lin, T.H., Chung, H.Y., Jian, M.J., Chang, C.K., Lin, H.H., Yen, C.T., et al. (2025) AI-Driven Innovations for Early Sepsis Detection by Combining Predictive Accuracy With Blood Count Analysis in an Emergency Setting: Retrospective Study. *Journal of Medical Internet Research*. 27 (1),.

[10] Zaki, H.A., Bensliman, S., Bashir, K., Iftikhar, H., Fayed, M.H., Salem, W., et al. (2024) Accuracy of procalcitonin for diagnosing sepsis in adult patients admitted to the emergency department: a systematic review and meta-analysis. *Systematic Reviews*. 13 (1),.

[11] Luo, J., An, S., Liao, X., Wu, J., and Li, L. (2025) Combined Biomarker Panel of Presepsin, HE4, and Oxygenation Index for Sepsis Diagnosis and Prognosis in Intensive Care Unit Patients. *Journal of Inflammation Research* . 18 14147–14159.

[12] Moura, E.L.B. de, Ferreira, D.P., and Pereira, R.W. (2025) Presepsin as a Diagnostic and Prognostic Biomarker of Sepsis-Associated Acute Kidney Injury: A Scoping Review of Clinical Evidence. *Journal of Clinical Medicine*. 14 (19),.

[13] Yoon, S.H. and Eun, S. (2025) Neutrophil CD64 as a prognostic biomarker for mortality in sepsis: A systematic review and meta-analysis. *Medicina Intensiva (English Edition)*. 502251.

[14] Zhuo, M., Fu, S., Chi, Y., Li, X., Li, S., Ma, X., et al. (2024) Angiopoietin-2 as a prognostic biomarker in septic adult patients: a systemic review and meta-analysis. *Annals of Intensive Care*. 14 (1),.

[15] Valeriani, E., Falletta, A., Pastori, D., Porfidia, A., Mastroianni, C.M., Di Bari, S., et al. (2024) Midregional-proAdrenomedullin as a prognostic tool in sepsis and septic shock: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Investigation*. 54 (9),.

[16] Taha, A.M., Najah, Q., Omar, M.M., Abouelmagd, K., Ali, M., Hasan, M.T., et al. (2024) Diagnostic and prognostic value of heparin-binding protein in sepsis A systematic review and meta-analysis. *Medicine (United States)*. 103 (25), e38525.

[17] Dennhardt, S., Ceanga, I.A., Baumbach, P., Amiratashani, M., Kröller, S., and Coldewey, S.M. (2024) Cell-free DNA in patients with sepsis: long term trajectory and association with 28-day mortality and sepsis-associated acute kidney injury. *Frontiers in Immunology*. 15.

[18] Li, L., Huang, H.C., He, Y., Pang, J.Y.C., Xiao, S.C., Xia, Z.F., et al. (2025) Cell-free DNA in sepsis: from molecular insights to clinical management. *Military Medical Research*. 12 (1),.

[19] Bindayna, K. (2024) MicroRNA as Sepsis Biomarkers: A Comprehensive Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 25 (12),.

[20] Jin, Y., Zhang, Y., Li, Y., and Zheng, X. (2025) Significances of miRNAs for predicting sepsis mortality: a meta-analysis. *Frontiers in Microbiology*. 16.

[21] Wu, H., Cao, T., Ji, T., Luo, Y., Huang, J., and Ma, K. (2024) Predictive value of the neutrophil-to-lymphocyte ratio in the prognosis and risk of death for adult sepsis patients: a meta-analysis. *Frontiers in Immunology*. 15.

[22] Xu, W., Ren, S., Li, Z., and Pang, L. (2025) Trajectory of the systemic immune-inflammation index and in-hospital mortality in patients with sepsis. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 15.

[23] Chen, L., Zhang, X., and Shi, P. (2025) Recent advances in biomarkers for detection and diagnosis of sepsis and organ dysfunction: a comprehensive review. *European Journal of Medical Research*. 30 (1),.

[24] Chiscano-Camón, L., Ruiz-Sanmartin, A., Bajaña, I., Bastidas, J., Lopez-Martinez, R., Franco-Jarava, C., et al. (2024) Current perspectives in the management of sepsis and septic shock. *Frontiers in Medicine*. 11.

[25] Chenoweth, J.G., Brandsma, J., Striegel, D.A., Genzor, P., Chiyka, E., Blair, P.W., et al. (2024) Sepsis endotypes identified by host gene expression across global cohorts. *Communications Medicine*. 4 (1),.

[26] Atreya, M.R., Huang, M., Moore, A.R., Zheng, H., Hasin-Brumshtein, Y., Fitzgerald, J.C., et al. (2024) Identification and transcriptomic assessment of latent profile pediatric septic shock phenotypes. *Critical Care*. 28 (1),.

[27] Mekata, K., Kyo, M., Tan, M., Shime, N., and Hirohashi, N. (2025) Molecular endotypes in sepsis: integration of multicohort transcriptomics based on RNA sequencing. *Journal of Intensive Care*. 13 (1),.

[28] Scicluna, B.P., Cano-Gamez, K., Burnham, K.L., Davenport, E.E., Moore, A.R., Khan, S., et al. (2025) A consensus blood transcriptomic framework for sepsis. *Nature Medicine*.

[29] von der Forst, M., Back, L., Tourelle, K.M., Gruneberg, D., Weigand, M.A., Schmitt, F.C.F., et al. (2025) SeptAsTERS- SeptiCyte® RAPID as assessment tool for early recognition of sepsis – a prospective observational study. *Infection*. 53 (3), 953–965.

[30] Wang, Z., Wang, W., Sun, C., Li, J., Xie, S., Xu, J., et al. (2025) A methodological systematic review of validation and performance of sepsis real-time prediction models. *Npj Digital Medicine*. 8 (1),.

[31] Balk, R., Esper, A.M., Martin, G.S., Miller, R.R., Lopansri, B.K., Burke, J.P., et al. (2024) Rapid and Robust Identification of Sepsis Using SeptiCyte RAPID in a Heterogeneous Patient Population. *Journal of Clinical Medicine*. 13 (20),.

[32] Abbas, G.H., Sen, P., Giri, O.A., and Khan, N.H. (2025) Artificial Intelligence-Based Predictive Modeling for Early Detection of Sepsis in Hospitalized Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Critical Care Explorations*. 7 (12), e1360.

[33] Al-Juhani, A., Desoky, R., Iskander, Z., Alshehri, K.T., Alshehri, A.A., Almuhaimid, A., et al. (2025) Advances in Data-Driven Early Warning Systems for Sepsis Recognition and Intervention in Emergency Care: A Systematic Review of Diagnostic Performance and Clinical Outcomes. *Cureus*.

[34] Wang, Z., Wang, W., Sun, C., Li, J., Xie, S., Xu, J., et al. (2025) A methodological systematic review of validation and performance of sepsis real-time prediction models. *Npj Digital Medicine*. 8 (1),.

[35] Collins, G.S., Moons, K.G.M., Dhiman, P., Riley, R.D., Beam, A.L., Van Calster, B., et al. (2024) TRIPOD+AI statement: Updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. *BMJ*.

[36] Saelmans, A., Seinen, T., Pera, V., Markus, A.F., Fridgeirsson, E., John, L.H., et al. (2025) Implementation and Updating of Clinical Prediction Models: A Systematic Review. *Mayo Clinic Proceedings: Digital Health*. 3 (3),.

[37] Papareddy, P., Lobo, T.J., Holub, M., Bouma, H., Maca, J., Strodthoff, N., et al. (2025) Transforming sepsis management: AI-driven innovations in early detection and tailored therapies. *Critical Care*. 29 (1),.

[38] Zhu, L., Chen, Z., Zhang, H., Chen, H., Liu, L., Yu, W., et al. (2025) Explainable AI unravels sepsis heterogeneity via coagulation-inflammation profiles for prognosis and stratification. *Nature Communications* . 16 (1),.

[39] Bhargava, A., López-Espina, C., Schmalz, L., Khan, S., Watson, G.L., Urdiales, D., et al. (2024) FDA-Authorized AI/ML Tool for Sepsis Prediction: Development and Validation. *NEJM AI*. 1 (12),.

FONKSİYONEL SÜT ÜRÜNLERİ VE KARDİYOVASKÜLER SAĞLIK: YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Dr. Selin Elmas

slnelmas92@gmail.com- 0009-0001-1192-1572

ÖZET

Kardiyovasküler hastalıklar (KVH), küresel mortalitenin önde gelen nedenleri arasında yer almakta olup primer korunma ve risk azaltımında beslenme temelli yaklaşımlar temel bir müdahale alanı oluşturmaktadır. Fonksiyonel süt ürünleri, belirli biyoaktif bileşenler aracılığıyla kardiyometabolik ara sonlanımları hedefleyen potansiyel bir strateji olarak öne çıkmakla birlikte, etkinlik ürün bileşimi, doz, gıda matriksi ve hedef popülasyona göre değişkenlik göstermektedir. Bu anlatısal derleme, sağlanan bibliyografya (export.xml) kapsamında yer alan sistematik derlemeler, meta-analizler, uzlaşı belgeleri ve randomize kontrollü çalışmalara dayanarak fonksiyonel süt ürünlerini kardiyovasküler sağlık perspektifinde değerlendirmeyi; lipid profili, kan basıncı, süt yağı–matriks yaklaşımı ve bağırsak ekseni üzerinden bildirilen kanıtları sentezlemeyi ve tip 2 diyabet ile mortalite gibi daha geniş kardiyometabolik çıktılar üzerinden ek sinyalleri tartışmayı amaçlamaktadır. Kanıt hiyerarşisinde öncelik sistematik derlemeler ve meta-analizlere verilmiş, mekanistik çalışmalar klinik bulguları bağlamlandırmak üzere ikincil düzeyde kullanılmıştır. En tutarlı klinik kanıt, fitosterol/stanol ile zenginleştirilmiş süt ürünlerinde LDL-kolesterol düzeylerinde sağlanan azalma üzerinden ortaya çıkmaktadır. Süt kaynaklı biyoaktif peptitlerin kan basıncı üzerindeki etkileri biyolojik olarak rasyonel görünmekle birlikte kanıt heterojendir. “Süt yağı–matriks” yaklaşımı, kardiyometabolik etkilerin yalnızca doymuş yağ içeriği ile açıklanamayacağını; ürün tipi, ikame edilen gıda ve toplam beslenme paterni bağlamının klinik yorumda belirleyici olabileceğini düşündürmektedir. Fermente süt ürünleri ve mikrobiyota ekseni umut verici olmakla birlikte, probiyotik etkilerin suş-spesifik doğası ve standardizasyon gereksinimi klinik çeviriyi sınırlandırmaktadır. Yoğurt tüketimi tip 2 diyabet ve bazı mortalite sonlanımları açısından olumlu sinyallerle ilişkilidir; ancak nedensellik açısından temkinli yorum gerekmektedir. Sonuç olarak fonksiyonel süt ürünleri, KV risk azaltımında mekanizma ve kanıt gücüne göre değerlendirilmelidir; klinik pratikte ürün seçimi bireysel risk profili, toplam beslenme paterni ve ikame edilen gıda bağlamı ile birlikte ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: fonksiyonel süt ürünleri; fitosterol; LDL-kolesterol; biyoaktif peptitler; kan basıncı; süt matriksi; fermente gıdalar; mikrobiyota; kardiyometabolik sağlık

1. GİRİŞ

Kardiyovasküler hastalıklar (KVH), küresel ölçekte mortalitenin başlıca nedenleri arasında yer almakta; Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) 2022 yılında KVH'ye atfedilen ölüm sayısını 19,8 milyon olarak bildirmektedir (1). Bu yüksek hastalık yükü, KV risk azaltımında yalnızca farmakolojik yaklaşımlara değil; primer korunma, kilo yönetimi ve sürdürülebilir yaşam tarzı bileşenlerini içeren bütüncül stratejilere öncelik verilmesini gerekli kılar. Kılavuz düzeyindeki çerçeveler de beslenmeyi; LDL-kolesterol, kan basıncı, glisemik kontrol ve inflamasyon gibi klinik riskle ilişkili ara belirteçler üzerinden etkili ve uygulanabilir bir müdahale alanı olarak konumlandırmaktadır [1,2].

Fonksiyonel gıdalar, belirli biyolojik hedeflere yönelik biyoaktif bileşenler aracılığıyla sağlık çıktılarında ölçülebilir iyileşme sağlamayı amaçlar. Ancak "fonksiyonel etki", tekil bir bileşenin eklenmesinden ziyade; bileşenin dozu ve biyoyararlanımı, tüketim süresi, hedef popülasyonun risk profili ve gıda matriksinin sindirim–emilim dinamikleri üzerindeki modülatör rolü tarafından belirlenir[3]. Bu nedenle KVH bağlamında fonksiyonel gıdaların değerlendirilmesinde genel sağlık algısı yerine, ölçülebilir ara sonlanımlar (ör. LDL/non-HDL, trigliserit, kan basıncı, hs-CRP, endotelyal fonksiyon belirteçleri) üzerinden kanıt sentezi kritik önemdedir.

Süt ürünleri, özellikle fermente formlar (yoğurt, kefir, peynir) ve zenginleştirilmiş ürünler, KV risk belirteçlerine potansiyel etkileri nedeniyle fonksiyonel gıda araştırmalarında öne çıkmaktadır. Güncel kapsamlı derlemeler ve şemsiye değerlendirmeler, süt ürünleri tüketimi ile kardiyometabolik sonuçlar arasındaki ilişkinin çoğu popülasyonda nötr–mütevazı olumlu aralıkta raporlanabildiğini; etkinin ürün tipi, tüketim dozu ve beslenme örüntüsü bağlamına duyarlı olduğunu düşündürmektedir[4–6]. Bu çerçevede son yıllarda "tam yağlı–az yağlı" ikiliğinin tek başına yeterli olmadığı; gıda matriksi ve kompleks lipid bileşiminin klinik yorumu etkileyebileceği vurgulanmaktadır[7,8].

Bu makalenin amacı, fonksiyonel süt ürünlerini KV sağlık perspektifinde; lipid profili, kan basıncı ve mikrobiyota–inflamasyon ekseni başta olmak üzere klinik açıdan anlamlı mekanizmalar ve ara sonlanımlar üzerinden bütüncül biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, son yıllarda yapılan sistematik derlemeler, meta-analizler, uzlaşı raporları ve randomize kontrollü çalışmalar (RKÇ) temel alınarak yürütülen anlatısal derleme niteliğindedir. Kanıt hiyerarşisinde öncelik meta-analizler ve sistematik derlemelere verilmiş; mekanistik literatür klinik bulguları bağlamlandırmak amacıyla ikincil düzeyde kullanılmıştır. Bulgular; (i) lipid profili (özellikle LDL-kolesterol), (ii) kan basıncı, (iii) inflamasyon/bağırsak ekseni ve (iv) süt yağı–matriks yaklaşımı başlıkları altında sentezlenmiştir.

Seçilen çalışmaların dergi profili ve literatürdeki etkisini gözetmek üzere, ilgili alanda uluslararası indekslerde (ör. WoS/Scopus) taranan, etki düzeyi yüksek dergilerde yayımlanmış ve atıf birikimi görece yüksek yayınlara öncelik verilmiştir. Bununla birlikte nihai öncelik, çalışma tasarımı ve metodolojik kalite (kanıt hiyerarşisi) ile klinik sonlanım uygunluğuna verilmiştir.

3. METABOLİK ETKİLER

3.1 Lipid profili ve kolesterol metabolizması

3.1.1 Fitosterol/stanol zenginleştirilme ve LDL yanıtı

Fonksiyonel süt ürünleri içinde KVH açısından en net hedeflerden biri LDL-kolesterol düzeylerinin düşürülmesidir. Bitkisel steroller/stanoller, intestinal kolesterol emilimini azaltma yoluyla LDL üzerinde etkili olduğu gösterilmiş biyoaktif bileşenlerdendir. Bitkisel sterol/stanol müdahalelerini değerlendiren meta-analizler, LDL-kolesterolde anlamlı azalma yönünde tutarlı bir etki ortaya koymakta; etkinin doz ile uygulama biçimine duyarlı olduğunu göstermektedir[9,10]. Fitosterol ester ile zenginleştirilmiş süt/yoğurt gibi süt matriksi içinde "taşıma" yaklaşımını değerlendiren randomize kontrollü çalışmalar (RKÇ'ler) da hafif-orta düzey hiperkolesterolemisi olan bireylerde klinik olarak ölçülebilir lipid yanıtları bildirmiştir [11]. Daha güncel bir sistematik derleme ve meta-analiz, fitosterol ile zenginleştirilmiş gıdaların LDL düzeylerini anlamlı ölçüde iyileştirebildiğini ve bulguların doz-yanıt örüntüsünü desteklediğini raporlamaktadır [12].

Bununla birlikte, fonksiyonel/fortifiye süt ürünlerini kardiyometabolik sonlanımlar açısından derleyen sistematik çalışmalar, lipid profilinde olumlu değişimlere karşın RKÇ'ler arasında doz, müdahale süresi, popülasyon özellikleri ve eşzamanlı tedaviler bakımından belirgin heterojenlik bulunduğunu ve bunun klinik genellenebilirliği sınırladığını vurgulamaktadır [13].

Bu çerçevede fitosterol/stanol ile zenginleştirilmiş süt ürünleri, özellikle LDL-kolesterol düzeyi yüksek bireylerde veya primer korunmada LDL hedeflerine yaklaşması gereken popülasyonlarda, yaşam tarzı müdahalelerine ek olarak klinik açıdan rasyonel bir seçenek olarak değerlendirilebilir. Ancak etki büyüklüğünün ürün formatı ve doza ek olarak başlangıç lipit düzeyi ve eşzamanlı lipid düşürücü tedavilere duyarlı olması, bulguların bireysel risk profili bağlamında yorumlanmasını gerektirir.

3.1.2 Süt yağı–matriks bağlamı ve lipid yanıtının yorumu

Lipid yanıtının klinik yorumu yalnızca eklenen biyoaktif bileşenlerle sınırlı değildir; süt ürünlerinin yağ bileşimi ve gıda matriksi gibi yapısal özellikleri de kardiyometabolik etkilerin yönü ve büyüklüğünü belirleyen kritik bir bağlam sunar. Nitekim süt ürünleri doymuş yağ içeriği nedeniyle tarihsel olarak KV risk açısından temkinli değerlendirilmiş olsa da, güncel literatür etkilerin yalnızca doymuş yağ yüzdesiyle açıklanamayabileceğini göstermektedir. Matriks yapısı, yağın globül membranı (MFGM) içinde paketlenişi ve polar lipidler gibi bileşenlerin metabolik yanıtı modüle edebileceği öne sürülmektedir [7,14]. Süt kaynaklı polar lipidleri odağına alan derlemeler, olası mekanizmaların lipoprotein metabolizması ve inflamatuvar yanıt üzerinden şekillenebileceğini belirtmektedir [15]. Ayrıca tam yağlı süt ürünlerinin kardiyometabolik çıktılarla ilişkisine odaklanan perspektifler, sonuçların ürün tipine (peynir/yoğurt/süt), tüketim dozuna ve popülasyonun başlangıç risk profiline göre değişkenlik gösterebildiğini; bu nedenle klinik yaklaşımın "genel yasak" yerine ikame edilen gıda ve toplam diyet örüntüsü bağlamında bireyselleştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır [8,16]. Bu yaklaşımı destekleyen "ikame (substitution)" temelli sistematik kanıt, KV risk değerlendirmesinde tüketim düzeyinden çok süt ürünlerinin hangi gıdanın yerine konduğu sorusunun belirleyici olabileceğine işaret etmektedir [17].

3.2 Kan Basıncı Üzerine Etkileri

Kan basıncı, KV risk azaltımında klinik önemi yüksek bir ara sonlanım olup, diyet temelli müdahaleler kılavuzlarda kardiyovasküler korunmanın temel bileşenleri arasında yer almaktadır [1,2]. Fonksiyonel süt ürünleri bağlamında kan basıncı yanıtı, tek bir bileşene indirgenemeyecek çok bileşenli bir çerçevede değerlendirilmelidir; zira müdahale süresi, ürün formatı, doz standardizasyonu, başlangıç risk profili ve eşzamanlı tedaviler, gıda müdahalelerinde etkinin büyüklüğünü belirleyen başlıca heterojenlik kaynaklarıdır [13,18]. Süt ürünleri literatürünü sistematik derlemeler ve meta-analizler üzerinden haritalayan kapsamlı sentezler de, kardiyometabolik sonuçların ürün tipi ve popülasyon özelliklerine duyarlı olduğunu; dolayısıyla kan basıncı gibi ara sonlanımlarda genelleme yapılırken metodolojik farklılıkların dikkate alınması gerektiğini desteklemektedir [4,5].

Mekanistik düzeyde en sık tartışılan yol, süt proteinlerinden türeyen biyoaktif peptitlerdir. Özellikle laktotripeptitler (IPP/VPP), renin–anjiyotensin sistemi üzerinden (ACE inhibisyonu dahil) kan basıncı regülasyonuna katkı sağlayabilecek aday bileşenler arasında yer almaktadır. IPP/VPP odaklı sistematik derleme ve meta-analiz bulguları, bazı popülasyonlarda sistolik kan basıncında anlamlı düşüşlerle ilişkili sonuçlar bildirirken; etkinin büyüklüğü ve tutarlılığının başlangıç kan basıncı düzeyi, doz, müdahale süresi ve çalışma tasarımı gibi faktörlere duyarlı olduğunu göstermektedir [19]. Bu bulgu deseni, fonksiyonel/fortifiye süt ürünleri alanında genel olarak vurgulanan “mütevazı etki–yüksek heterojenlik” profilini yansıtmakta; kan basıncı yanıtının klinik çevirisinde ürün standardizasyonunun ve iyi tanımlanmış hedef popülasyonların önemini artırmaktadır.

Bu nedenle kan basıncı ekseninde daha güvenilir çıkarımlar için, gelecekteki RKÇ’lerde hipertansiyon fenotipinin (prehipertansiyon/evre 1–2), eşzamanlı antihipertansif tedavilerin ve diyet örüntüsünün daha net kontrol edilmesi; müdahale süresinin yeterli tutulması ve ürün bileşiminin/dozunun standardize edilmesi kritik görünmektedir [13,19]. Daha geniş bir klinik yorum açısından ise, süt ürünlerinin kardiyometabolik etkilerinin “tek bileşen” yaklaşımıyla değil, ürün tipi ve diyet bağlamı içinde değerlendirilmesi gerektiği yönündeki güncel perspektif, kan basıncı bulgularının da toplam risk profiliyle birlikte ele alınmasını desteklemektedir [8,20].

3.3 Bağırsak–Endotel–Lipid Bağlantısı

Son yıllarda canlı mikroorganizmalar yerine canlı olmayan mikrobiyal hücreleri (paraprobiotik) veya mikrobiyal bileşen/ürünleri (postbiyotik) hedefleyen yaklaşımlar giderek daha fazla gündeme gelmiştir. Paraprobiotiklere ilişkin derlemeler, üretim yöntemleri ve fonksiyonellik açısından kavramsal bir çerçeve sunarken [21], ISAPP uzlaşı bildirimi postbiyotiklerin tanımını ve kapsamını netleştirerek bu alandaki terminolojik ve metodolojik standardizasyonu güçlendirmiştir [22]. “Postbiyotik–probiyotik” ayrımını tartışan güncel literatür, canlılık gereksiniminin ortadan kalkmasıyla stabilite, raf ömrü ve üretim kontrolü açısından olası avantajlara dikkat çekerken; kardiyovasküler ara sonlanımlara (örn. inflamasyon belirteçleri, endotel fonksiyonu, lipid profili) yönelik doğrudan klinik kanıtın halen gelişme aşamasında olduğunu vurgulamaktadır [23]. Bu çerçevede fermente süt ürünleri KVH açısından umut verici bir fonksiyonel platform sunmakla birlikte, klinik öneri düzeyine ulaşabilmesi için suş/ürün

standardizasyonu yüksek ve yeterli örneklem büyüklüğüne sahip, iyi tasarlanmış müdahale çalışmalarına ihtiyaç devam etmektedir.

3.4 Tip 2 Diyabet ve Mortalite

Fermente süt ürünleri ve mikrobiyota ekseni üzerinden tartışılan mekanizmalar, fonksiyonel süt ürünlerinin kardiyovasküler riskle ilişkisini yalnızca lipit profili veya kan basıncı gibi tekil ara sonlanımlarla sınırlamadan, daha geniş bir kardiyometabolik çerçevede ele almayı gerekli kılar. Bu bağlamda tip 2 diyabet (T2D), KVH gelişimi için güçlü bir risk belirleyicisi olup süt ürünleri—özellikle yoğurt—tüketimine ilişkin epidemiyolojik kanıtlar, olası risk modülasyonuna dair ek ipuçları sunmaktadır [24,25].

Prospektif kohort verilerini birleştiren meta-analitik değerlendirmeler, süt ürünleri tüketimi ile T2D riski arasında ters yönlü ilişki bildiren bulgular ortaya koymuştur. Üç büyük ABD kohortunu ve güncellenmiş meta-analizi içeren çalışmada, toplam süt ürünü tüketiminin T2D riskiyle ilişkisi sınırlı görünmekle birlikte, yoğurt tüketiminin daha tutarlı biçimde daha düşük T2D riskiyle ilişkili olabileceği raporlanmıştır [25]. Daha güncel bir derleme, yoğurt tüketimi ile T2D riskindeki azalma sinyalini destekleyen bulguları özetlerken; olası mekanizmaların fermantasyonla ilişkili biyoyararlanım değişiklikleri, bağırsak mikrobiyotası üzerinden metabolik yanıtın modülasyonu ve diyet örüntüsü bağlamındaki ikame etkileri ile açıklanabileceğini tartışmaktadır [24]. Bu veriler doğrudan kardiyovasküler olayları ölçmese de, T2D riskinde olası iyileşmenin uzun vadede KV risk yüküne yansıyabileceğine işaret eden biyolojik ve epidemiyolojik açıdan tutarlı bir çerçeve sunmaktadır.

Benzer biçimde mortalite çıktıları, fonksiyonel süt ürünlerinin “nihai sağlık sonuçları” ile ilişkisini değerlendirmede ek bir pencere sağlar. Yoğurt tüketimi ile mortalite riskleri arasındaki ilişkiyi inceleyen kohort temelli meta-analitik kanıt, belirli mortalite sonlanımlarında risk azalması yönünde bulgular bildirmiş; ancak gözlemsel tasarımın doğası gereği artık (residual) karıştırıcılar ile beslenme örüntüsü ve yaşam tarzı etkenlerinin nedensel yorumları sınırlayabileceğini göstermiştir [26]. Buna paralel olarak fermente süt ürünleri tüketimi ile KVH riski arasındaki ilişkiyi değerlendiren kohort meta-analizi de, bazı sonlanımlarda risk azalması yönünde sinyaller bildirmekle birlikte, gözlemsel kanıtın nedensellik açısından temkinli yorumlanması gerektiğini desteklemektedir [27]. Dolayısıyla T2D ve mortaliteye ilişkin bu ek sinyaller, fonksiyonel süt ürünlerinin kardiyometabolik profil üzerindeki olası katkılarını desteklemekle birlikte, klinik öneri düzeyini güçlendirmek için iyi tanımlanmış popülasyonlarda, yeterli süreli ve standardize ürünlerle yürütülen müdahale çalışmalarına gereksinim devam etmektedir.

4. TARTIŞMA

Fonksiyonel süt ürünlerinin kardiyovasküler (KV) risk azaltımında “tek tip” bir kategori olarak ele alınmasının uygun olmadığı; etkilerin hedeflenen biyolojik mekanizma, ürün formülasyonu ve kanıt düzeyi doğrultusunda ayrıştırılarak yorumlanması gerektiğidir. Beslenme müdahaleleri kılavuzlarda kardiyovasküler korunmanın temel bileşenleri arasında yer alsa da, fonksiyonel ürünlerin klinik katkısı çoğu zaman “sert” sonlanımlardan ziyade ara sonlanımlar üzerinden değerlendirilmektedir [1,2]. Bu nedenle lipid profili, kan basıncı, mikrobiyota–inflamasyon

ekseni ve kardiyometabolik çıktılar (T2D, mortalite) üzerinden yapılan kanıt sentezi, klinik anlamlılığın daha ölçülebilir bir çerçevede tartışılmasına olanak sağlamaktadır.

Lipid profili açısından en tutarlı ve klinik yoruma en elverişli kanıt, fitosterol/stanol ile zenginleştirilmiş süt ürünlerinde LDL-kolesterol düşüşü üzerinden ortaya çıkmaktadır. Bitkisel sterol/stanol müdahalelerine ilişkin meta-analitik kanıtlar LDL'de anlamlı azalma yönünde tutarlı bir etki bildirmekte ve doz-yanıt duyarlılığına işaret etmektedir [9,10,12]. Süt matriksi içinde "taşıma" yaklaşımını değerlendiren RKÇ'ler de, hafif-orta düzey hiperkolesterolemisi olan bireylerde ölçülebilir lipid yanıtlarının mümkün olduğunu göstermiştir [11]. Bununla birlikte fonksiyonel/fortifiye süt ürünleri literatüründe müdahale süresi, ürün formatı, popülasyon riski ve eşzamanlı tedavilerdeki farklılıklar, genellenebilirliği sınırlayan başlıca heterojenlik kaynaklarıdır [13]. Bu çerçevede en rasyonel klinik kullanım, fitosterol/stanol zenginleştirilmiş ürünlerin özellikle LDL düzeyi yüksek bireylerde veya primer korunmada hedeflere yaklaşma gereksinimi olan popülasyonlarda, yaşam tarzı müdahalelerine tamamlayıcı bir seçenek olarak değerlendirilmesidir.

Süt ürünlerinin kardiyometabolik etkilerinin yalnızca doymuş yağ yüzdesi üzerinden yorumlanmasının yetersiz olabileceğine işaret eden "süt matriksi" yaklaşımı ise klinik karar çerçevesini belirgin biçimde genişletmektedir. Matriks yapısı, süt yağının globül membranı (MFGM) içinde paketlenişi ve polar lipidler gibi bileşenlerin metabolik yanıtı modüle edebileceği; dolayısıyla "tam yağlı–az yağlı" ikiliğinin tek başına yeterli bir sınıflama sunmadığı ileri sürülmektedir [7,14,15]. Bu bakış açısı, ürün tipinin (yoğurt/peynir/süt), tüketim dozunun ve bireysel risk profilinin birlikte değerlendirilmesini; ayrıca tüketimin hangi gıdanın yerine geçtiğini temel alan ikame perspektifinin klinik yorumda kritik olabileceğini desteklemektedir [8,16,17]. Bu nedenle fonksiyonel süt ürünlerine ilişkin öneriler geliştirilirken, toplam diyet örüntüsü ve ikame edilen gıda bağlamının açık biçimde tanımlanması önem taşır.

Kan basıncı ekseninde süt proteinlerinden türeyen biyoaktif peptitler (özellikle IPP/VPP), biyolojik olarak rasyonel bir mekanizmaya dayanmasına karşın klinik kanıt heterojen bir görünüm sergilemektedir. IPP/VPP odaklı sistematik derleme ve meta-analiz, bazı popülasyonlarda sistolik kan basıncında anlamlı düşüşler bildirse de etkinin büyüklüğünün başlangıç kan basıncı, doz, müdahale süresi ve tasarım özelliklerine duyarlı olduğunu göstermektedir [19]. Bu durum, klinik genellenebilirliği güçlendirmek için iyi tanımlanmış hipertansiyon fenotipleri, yeterli takip süresi ve mümkün olduğunda daha duyarlı ölçüm yaklaşımlarını içeren RKÇ'lere gereksinim olduğunu düşündürmektedir. Ürün standardizasyonunun (peptit içeriği/doz) sağlanması ve eşzamanlı tedavi ile diyet örüntüsü kontrolünün güçlendirilmesi, heterojenliğin azaltılması açısından kritik görünmektedir.

Mikrobiyota–inflamasyon ekseni üzerinden fermente süt ürünleri, gözlemsel verilerde çoğu zaman nötr veya mütevazı olumlu sinyallerle ilişkilendirilmekle birlikte, klinik çeviri açısından en kritik zorluk "probiyotik" iddiasının suş-spesifik doğası ve ürün kalitesindeki değişkenliktir [28,29]. Postbiyotik ve paraprobiotik yaklaşımlar canlılık gereksinimini ortadan kaldırarak stabilite ve üretim kontrolü açısından avantajlar sunabilir; ancak kardiyovasküler ara sonlanımlara yönelik doğrudan klinik kanıtın halen gelişme aşamasında olduğu anlaşılmaktadır [21–23]. Bu nedenle fermente ürünlerin fonksiyonel platform olarak değerlendirilmesinde "ürün–kanıt eşleştirmesi"nin (hangi suş/hangi doz/hangi süre) açık biçimde yapılması temel bir metodolojik gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Son olarak, fonksiyonel süt ürünlerinin kardiyovasküler riskle ilişkisini daha geniş kardiyometabolik bağlamda değerlendiren veriler, özellikle yoğurt tüketimi için T2D riskinde azalma yönünde bir sinyalin varlığına işaret etmektedir [24,25](Chen et al., 2014; Freitas et al., 2025). Mortalitenin değerlendirildiği meta-analitik kanıt da belirli sonlanımlarda risk azalması yönünde bulgular bildirmekle birlikte, gözlemsel tasarımın doğası gereği nedensel yorumların temkinli yapılması gerekmektedir [26]. Dolayısıyla T2D ve mortalite bulguları, fonksiyonel süt ürünlerinin olası katkılarını destekleyen tamamlayıcı sinyaller olarak değerlendirilmeli; klinik öneri düzeyini güçlendirmek için iyi tasarlanmış müdahale çalışmalarına ihtiyaç olduğu vurgulanmalıdır.

Genel olarak bu derleme, fonksiyonel süt ürünleri alanında en güçlü klinik sinyalin fitosterol/stanol zenginleştirilmiş ürünlerde LDL-kolesterol düşüşü üzerinden oluştuğunu; matriks yaklaşımının klinik yorumda kritik bir bağlam sunduğunu; kan basıncı ve mikrobiyota-temelli stratejilerde ise heterojenlik ve standardizasyon gereksinimi nedeniyle kanıtın daha temkinli yorumlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Klinik pratikte en uygulanabilir yaklaşım, fonksiyonel ürün seçimini bireysel risk profili (dislipidemi, hipertansiyon, metabolik risk), toplam diyet örüntüsü ve ikame edilen gıda bağlamı ile birlikte değerlendirmek; kanıtı güçlü müdahaleleri hedefli biçimde, kanıtı sınırlı alanları ise standardize klinik araştırmalarla desteklenecek şekilde konumlandırmaktır.

Bu derlemenin bazı sınırlılıkları vardır. Kanıtların çoğu “sert” klinik sonlanımlar yerine ara sonlanımlara dayandığından genellenebilirlik sınırlıdır. Ayrıca ürün formatı/doz, takip süresi, popülasyon ve eşzamanlı tedavilerdeki heterojenlik ile probiyotiklerde suş-spesifiklik ve ürün kalite değişkenliği klinik çeviriyi zorlaştırmaktadır. Gelecek çalışmaların standardize ürün ve dozlarla, iyi tanımlanmış popülasyonlarda yeterli süre izlemle ve diyet ikamesini/diyet örüntüsünü kontrol ederek yürütülmesi gerekmektedir.

5. SONUÇ

Fonksiyonel süt ürünlerinin kardiyovasküler risk azaltımında tek tip bir müdahale olarak değil, hedeflenen mekanizma ve kanıt gücü temelinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Mevcut kanıtlar içinde en tutarlı klinik sinyal, fitosterol/stanol ile zenginleştirilmiş süt ürünlerinde LDL-kolesterol düzeylerinde sağlanan azalma üzerinden ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık kan basıncı ekseninde süt kaynaklı biyoaktif peptitlere ilişkin bulgular daha heterojen olup etki büyüklüğü; doz, ürün formatı, müdahale süresi ve başlangıç risk profiline duyarlıdır. Fermente ürünler ve bağırsak ekseni üzerinden olası yararlar biyolojik olarak rasyonel görünmekle birlikte, probiyotik etkilerin suş-spesifik doğası ve ürün standardizasyonu gereksinimi klinik öneri düzeyini sınırlamaktadır. Kardiyometabolik bağlamda yoğurt tüketimi için T2D ve bazı mortalite sonlanımlarında gözlenen olumlu sinyaller, olası katkıyı desteklese de nedensellik açısından temkinli yorum gerektirir.

Klinik pratikte en uygulanabilir yaklaşım, fonksiyonel süt ürünü seçimini bireysel risk profili (özellikle dislipidemi, hipertansiyon ve metabolik risk), toplam diyet örüntüsü ve ikame edilen gıda bağlamı ile birlikte ele almaktır. Gelecekte, standardize ürün bileşimi ve dozla yürütülen, yeterli takip süresine sahip ve klinik olarak anlamlı sonlanımlara yaklaşan iyi tasarlanmış müdahale çalışmalarının artması, fonksiyonel süt ürünlerinin kardiyovasküler korunmadaki yerini daha net biçimde tanımlayacaktır.

KAYNAKÇA

[1] Lichtenstein, A.H., Appel, L.J., Vadiveloo, M., Hu, F.B., Kris-Etherton, P.M., Rebholz, C.M., et al. (2021) 2021 Dietary Guidance to Improve Cardiovascular Health: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*. 144 (23), E472–E487.

[2] Visseren, F., Mach, F., Smulders, Y.M., Carballo, D., Koskinas, K.C., Bäck, M., et al. (2021) 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *European Heart Journal*. 42 (34), 3227–3337.

[3] Aguilera, J.M. (2019) The food matrix: implications in processing, nutrition and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 59 (22), 3612–3629.

[4] Akyil, S., Winkler, S., Meyer, D., Kiesswetter, E., Kussmann, M., Schwingshackl, L., et al. (2025) Association between dairy intake and multiple health outcomes: a scoping review of systematic reviews and meta-analyses. *European Journal of Clinical Nutrition*.

[5] Fontecha, J., Calvo, M.V., Juarez, M., Gil, A., and Martínez-Vizcaino, V. (2019) Milk and Dairy Product Consumption and Cardiovascular Diseases: An Overview of Systematic Reviews and Meta-Analyses. *Advances in Nutrition*. 10 S164–S189.

[6] Sharifan, P., Roustaee, R., Shafiee, M., Longworth, Z.L., Keshavarz, P., Davies, I.G., et al. (2025) Dairy Consumption and Risk of Cardiovascular and Bone Health Outcomes in Adults: An Umbrella Review and Updated Meta-Analyses. *Nutrients* . 17 (17),.

[7] Dunne, S., Gibney, E.R., McGillicuddy, F.C., and Feeney, E.L. (2024) The effects of saturated fat intake from dairy on CVD markers - the role of food matrices. *Proceedings of the Nutrition Society*.

[8] Lamarche, B., Astrup, A., Eckel, R.H., Feeney, E., Givens, I., Krauss, R.M., et al. (2025) Regular-fat and low-fat dairy foods and cardiovascular diseases: perspectives for future dietary recommendations. *American Journal of Clinical Nutrition*. 121 (5), 956–964.

[9] AbuMweis, S.S., Barake, R., and Jones, P.J.H. (2008) Plant sterols/stanols as cholesterol lowering agents: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Food and Nutrition Research*. 52.

[10] Ras, R.T., Geleijnse, J.M., and Trautwein, E.A. (2014) LDL-cholesterol-lowering effect of plant sterols and stanols across different dose ranges: A meta-analysis of randomised controlled studies. *British Journal of Nutrition*. 112 (2), 214–219.

[11] Noakes, M., Clifton, P.M., Doornbos, A.M.E., and Trautwein, E.A. (2005) Plant sterol ester-enriched milk and yoghurt effectively reduce serum cholesterol in modestly hypercholesterolemic subjects. *European Journal of Nutrition*. 44 (4), 214–222.

[12] Fontané, L., Pedro-Botet, J., Garcia-Ribera, S., Climent, E., Muns, M.D., Ballesta, S., et al. (2023) Use of phytosterol-fortified foods to improve LDL cholesterol levels: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 33 (8), 1472–1480.

[13] Soto-Méndez, M.J., Rangel-Huerta, O.D., Ruiz-López, M.D., Martínez De Victoria, E., Anguita-Ruiz, A., and Gil, A. (2019) Role of Functional Fortified Dairy Products in Cardiometabolic Health: A Systematic Review and Meta-analyses of Randomized Clinical Trials. *Advances in Nutrition*. 10 S251–S271.

[14] Taormina, V.M., Unger, A.L., and Kraft, J. (2024) Full-fat dairy products and cardiometabolic health outcomes: Does the dairy-fat matrix matter? *Frontiers in Nutrition*. 11.

[15] Bruno, R.S., Pokala, A., Torres-Gonzalez, M., and Blesso, C.N. (2021) Cardiometabolic health benefits of dairy-milk polar lipids. *Nutrition Reviews*. 79 16–35.

[16] Pokala, A., Kraft, J., Taormina, V.M., Michalski, M.C., Vors, C., Torres-Gonzalez, M., et al. (2024) Whole milk dairy foods and cardiometabolic health: dairy fat and beyond. *Nutrition Research*. 126 99–122.

[17] Kiesswetter, E., Neuenschwander, M., Stadelmaier, J., Szczerba, E., Hofacker, L., Sedlmaier, K., et al. (2024) Substitution of Dairy Products and Risk of Death and Cardiometabolic Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Studies. *Current Developments in Nutrition*. 8 (5),.

[18] Hajzer, Z.E., Alibrahem, W., Kharrat Helu, N., Oláh, C., and Prokisch, J. (2025) Functional Foods in Clinical Trials and Future Research Directions. *Foods*. 14 (15),.

[19] Chanson-Rolle, A., Aubin, F., Braesco, V., Hamasaki, T., and Kitakaze, M. (2015) Influence of the lactotripeptides isoleucine-proline-proline and valine-proline-proline on systolic blood pressure in Japanese subjects: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS ONE*. 10 (11),.

[20] Everett, D.W. (2025) Dairy Foods: A Matrix for Human Health and Precision Nutrition—The impact of the dairy food matrix on digestion and absorption. *Journal of Dairy Science*. 108 (4), 3070–3087.

[21] Lee, N. -K, Park, Y.S., Kang, D.K., and Paik, H.D. (2023) Paraprobiotics: definition, manufacturing methods, and functionality. *Food Science and Biotechnology*. 32 (14), 1981–1991.

[22] Salminen, S., Collado, M.C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E.M.M., et al. (2021) The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*. 18 (9), 649–667.

[23] Calvanese, C.M., Villani, F., Ercolini, D., and De Filippis, F. (2025) Postbiotics versus probiotics: Possible new allies for human health. *Food Research International*. 217.

[24] Freitas, M., O'Connor, A., Blechman, A., Cifelli, C.J., and Reinhardt Kapsak, W. (2025) Yogurt and Reduced Risk of Type 2 Diabetes: Exploring the Food and Drug Administration Qualified Health Claim and Potential Implications for Improving Public Health. *The Journal of Nutrition*. 155 (8), 2475–2484.

[25] Chen, M., Sun, Q., Giovannucci, E., Mozaffarian, D., Manson, J.A.E., Willett, W.C., et al. (2014) Dairy consumption and risk of type 2 diabetes: 3 cohorts of US adults and an updated meta-analysis. *BMC Medicine*. 12 (1),.

[26] Tutunchi, H., Naghshi, S., Naemi, M., Naeini, F., and Esmaillzadeh, A. (2023) Yogurt consumption and risk of mortality from all causes, CVD and cancer: A comprehensive systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Public Health Nutrition*. 26 (6), 1196–1209.

[27] Zhang, K., Chen, X., Zhang, L., and Deng, Z. (2020) Fermented dairy foods intake and risk of cardiovascular diseases: A meta-analysis of cohort studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 60 (7), 1189–1194.

[28] Binda, S., Hill, C., Johansen, E., Obis, D., Pot, B., Sanders, M.E., et al. (2020) Criteria to Qualify Microorganisms as "Probiotic" in Foods and Dietary Supplements. *Frontiers in Microbiology*. 11.

[29] Warzée, J.P., Elli, M., Fall, A., Cattivelli, D., and François, J.Y. (2021) Supranational assessment of the quality of probiotics: Collaborative initiative between independent accredited testing laboratories. *Microorganisms*. 9 (7),.

KENT PARKLARININ İYİ OLMA HALİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Eda TOPRAK[1]

İzmir Demokrasi üniversitesi/Peyzaj Mimarlığı,

Edatoprak35@gmail.com- 0009-0006-3688-0347

Prof. Dr. Nurdan ERDOĞAN[2]

İzmir Demokrasi üniversitesi/Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı,

nurdan.erdogan@idu.edu.tr - 0000-0002-0642-5566

ÖZET

Şehirlerdeki hızlı nüfus artışı ile yapısal yüzeylerin giderek artması ve buna bağlı olarak yeşil alanların azalması insanların doğaya erişiminin ve rekreasyonel faaliyetlere katılabilmesinin önünü kapatmaktadır. Bu da yaşam kalitesinin düşmesine, çevreyle kurulan bağın kopmasına ve fiziksel, ruhsal ve sosyal iyi olma halinde bozulmalara yol açmaktadır.

İyi olma hali sağlıklı, konforlu ve mutlu olma hali olarak ifade edilen çatı bir kavram olarak tanımlanmaktadır. Bireylerin fiziksel, zihinsel, ruhsal durumunun nasıl olduğu ve çevreyi nasıl algıladıklarını bütüncül bir şekilde ele alınmaktadır. Kent parkı ise bireylerin sosyal, fiziksel ve psikolojik gereksinimlerini karşılayan ve kente hizmet veren rekreasyon birimi olarak tanımlanmaktadır. Bireylerin park kullanım ve ziyaretleri nedenleri genellikle yürümek, egzersiz yapmak, bisiklet sürmek, doğada bulunmak, kitap okumak, arkadaşları/aileleri ile buluşmak, çocukları ile oyun aktiviteleri gerçekleştirmek vb. faaliyetlerdir. Bireylerin park kullanımı sonucunda sağladıkları yararlar ise fiziksel aktivite sayesinde enerji kazanma ve yenilenme, sakinleşme, dinlenme, motivasyon kazanma ve sosyal ilişkiler kurma vb. şeklindedir. Kent parklarının sadece mevcudiyeti ile değil planlama yaklaşımları ve bazı tasarım kriterleri çerçevesinde oluşturulması iyilik hali ve buna bağlı davranışların şekillenmesi için gerekmektedir. Aktivite ve kullanım çeşitliliği, ulaşılabilirlik, güvenlik, bakım, konfor, aidiyet hissi ve sosyallik gibi pek çok parametre yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde etkilidir.

Kent parklarının sağladıkları faydalar ile bireylerin iyi olma halini olumlu yönde etkilediği ayrıca kent parkları özelliklerinin yaşam kalitesini etkilediği ve bu etkileşim ile yaşam kalitesi arasında olumlu bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı yerel yönetimlere, tasarımcılara, plancılara iyi olma hali ve kent parkı kriterleri arasındaki ilişkinin anlatılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Kent Parkı, İyi Olma Hali, Yaşam Kalitesi

Bu çalışma Prof. Dr. Nurdan ERDOĞAN[1] danışmanlığında Eda TOPRAK[2] tarafından hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ

Kentlerdeki hızlı nüfus artışı plansız ve yoğun yapılaşmayı beraberinde getirmiştir. Bu da kent içerisinde kişi başına düşen yeşil alan miktarını ve bireylerin doğa ile temasını azaltmıştır. Ayrıca kentleşme, bireylerin yaşadığı fiziksel çevrenin bozulmasına, sosyal, ekonomik ve çevreyi olumsuz etkileyen sorunların artmasına neden olarak bireylerin yaşam kalitelerinde bozulmalara yol açmıştır.

Kentlerde yeşil alanların hem nicelik hem de nitelik açısından azalması, bireylerin daha hareketsiz ve stres odaklı bir yaşam sürmesine yol açmakta; bu durum obezite, diyabet, hipertansiyon, kalp-damar hastalıkları ile tükenmişlik ve kaygı gibi çeşitli sağlık sorunlarının daha yaygın görülmesine neden olmaktadır (Grahn & Stigsdotter, 2003; Björk vd., 2008; Pretty vd., 2005; Ayan, 2017). Bu koşullar altında kentsel yeşil alanlar; bireylerin fiziksel aktiviteye katılımını destekleyen, stres düzeylerini azaltan ve psikolojik iyilik halini güçlendiren temel kentsel mekânlar olarak öne çıkmaktadır (Ayan S.B., Durak M., Tazebay H. İ., 2018).

Yeşil alanlar, bireylerin sağlığını ve bozulan yaşam kalitesini iyileştirerek iyi olma halleri ve yaşam memnuniyetlerinin pozitif yönde artmasında önemli bir rol oynamaktadır (Kaplan & Kaplan, 1989; Chiesura, 2004; Ayan, 2017). Kent içerisindeki kamusal açık mekânlar olarak değerlendirilen kent parkları ise sundukları rekreasyon olanaklarıyla bireylerin fiziksel ve psikolojik sağlığını desteklemekte; sosyal etkileşim ortamları aracılığıyla aidiyet duygusunun ve toplum bilincinin güçlenmesine katkı sağlayarak bireylerin bütüncül iyi oluşlarını olumlu yönde etkilemektedir (Ulrich, 1984; Kuo vd., 1998; Irvine vd., 2013).

İnsanlar yakın veya uzak çevrelerinde bulunan yeşil alanları aktif (doğrudan) ya da pasif (dolaylı) biçimde kullanabilmektedir. Aktif kullanım; yürüyüş, spor ve rekreasyonel etkinlikler yoluyla bireylerin fiziksel aktivite düzeylerini artırarak fiziksel sağlığı desteklemektedir (Ellaway vd., 2005; Maas vd., 2006). Pasif kullanım ise bireyin yeşil alanla doğrudan etkileşime girmeden, görsel temas ya da alanın varlığını algılaması yoluyla stresin azalmasına ve zihinsel yenilenmeye katkı sağlamaktadır (Ulrich, 1984; Kaplan ve Kaplan, 1989). Yapılan çalışmalar hem aktif hem de pasif yeşil alan kullanımının fizyolojik ve psikolojik yenilenmeyi desteklediğini, kan basıncı ve stres düzeylerinde azalma sağladığını ortaya koymaktadır (Van den Berg vd., 2007; Özgüner, 2004).

Yeşil alanların belirli kalite ölçütlerinin olması kullanıcı gereksinimlerine yanıt vermesi açısından önem taşımaktadır. Ulaşılabilir, kullanılabilir, erişilebilir, yaşanılabilir, çeşitlilik gösteren, karmaşıklıktan uzak, bakımlı, güvenli, devamlılık ve uyumluluk gibi faktörler yeşil alan kalite ölçütleri arasında sayılabilmektedir. İnsanların stresli hayatlarından uzaklaşabilmeleri için yeşil alanlardan beklentilerinin karşılanması ve onlara iyi olduklarını hissettirmesi gerekmektedir (İnceoğlu ve Aytuğ 2009).

Kent insanının yeşil alanlardan yararlanma düzeyinin artırılabilmesi için, rekreasyon hizmetlerinin kullanıcı gereksinimlerine uygun biçimde çeşitlendirilmesi ve mekânsal niteliklerin iyileştirilmesi önem taşımaktadır. Nitelikli ve işlevsel biçimde tasarlanan yeşil alanlar, kullanıcılar için daha çekici hâle gelerek kullanım sıklığını ve mekânda geçirilen süreyi artırmaktadır. Bu durum, bireylerin fiziksel aktiviteye katılımını ve açık alan kullanımını teşvik ederek toplum sağlığına olumlu katkı sağlamaktadır (Özgüner, 2003).

Yeşil alan kullanımının azalmasında yalnızca kentleşme süreci değil, alanların sahip olduğu mekânsal özellikler de belirleyici olmaktadır. Mekânın konumu ve erişilebilirliği, bakım durumu, algılanan güvenlik düzeyi ve farklı kullanıcı gruplarının ihtiyaçlarına yanıt verebilme kapasitesi, yeşil alanların tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır (Ottosson ve Grahn, 2015).

Kentsel yeşil alanları etkili bir şekilde tasarlamak, yönetmek ve planlamak için, sakinlerin bu ortamlarla nasıl ve neden etkileşime girdiğini anlamak zorunludur. Fongar ve ark. (2019), yeşil alanların kalitesinin ziyaretleri etkileyen önemli bir faktör olduğunu ve daha yüksek kalite derecelendirmelerinin kullanımı olumlu yönde etkilediğini vurgulamıştır (Russo,2024). Algılanan mesafe, ziyaretlerin birincil belirleyicisi olarak tanımlanmıştır; bireyler genellikle evlerine daha yakın yeşil alanları sık sık ziyaret etme eğilimindedir (Fongar ve ark., 2019).Ayrıca, bu alanların tasarımı ve düzenli bakımı hem kullanımlarını hem de güvenlik algılarını etkileyebilir (Shepley ve ark. (2019). Yeşil alanların varlığı kentsel suçları azaltma potansiyeline sahip olsa da (Wo, 2024), bu etkiler etkili tasarım ve tutarlı bakım ile daha da güçlenir (Shepley ve ark. (2019).

İyi olma hali, bireylerin yalnızca fiziksel sağlık durumlarını değil; psikolojik, sosyal ve çevresel koşullarla etkileşim içerisinde şekillenen çok boyutlu bir yaşam durumunu ifade etmektedir (WHO, 1948; Ryff, 1989). Güncel sağlık yaklaşımları, bireysel sağlığın yaşanılan çevreden ve ekosistem koşullarından bağımsız ele alınamayacağını vurgulamakta; bu bütüncül bakış açısı One Health yaklaşımı çerçevesinde ele alınmaktadır (WHO, 2017). One Health yaklaşımı, insan sağlığı, çevre sağlığı ve ekosistem sağlığının birbirleriyle karşılıklı etkileşim içerisinde olduğunu ve bu bileşenlerden birindeki bozulmanın diğerlerini de doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, özellikle yoğun kentleşme baskısı altında kalan kentsel alanlarda, bireylerin iyi olma halinin değerlendirilmesinde fiziksel çevrenin rolü giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kent parkları; bireylerin fiziksel aktivite, stresle başa çıkma, sosyal etkileşim ve doğayla temas gereksinimlerine yanıt vererek iyi olma halinin desteklenmesinde kritik kentsel mekânlar olarak öne çıkmaktadır (Ayan, 2017; Kaplan ve Kaplan, 1989). Bu doğrultuda, bu çalışmada kentsel yeşil alanların bir parçası olan kent parkları ile bireylerin iyi olma hali arasındaki ilişki, kent parkı kalite kriterleri çerçevesinde ele alınmaktadır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE ve LİTERATÜR TARAMASI

2.1. İyi Olma Hali Kavramı

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), sağlığı yalnızca hastalık ve sakatlığın olmaması değil; fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali olarak tanımlamaktadır (Bolsoy ve Sevil, 2006). Bu tanım, sağlık kavramının yalnızca biyolojik boyutla sınırlı olmadığını, bireyin ruhsal ve sosyal işlevselliğini de kapsayan bütüncül bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede iyi olma hali, bireyin yaşamını nasıl deneyimlediğini, algıladığını ve değerlendirdiğini yansıtan temel bir kavram olarak öne çıkmaktadır.

İyi olma hali, zengin ve çok boyutlu bir içeriğe sahip olmakla birlikte, öznel bir yön taşıması nedeniyle karmaşık bir yapı göstermektedir (Ergiyen, 2023). Bu nedenle literatürde farklı disiplinler tarafından farklı biçimlerde ele alınmış ve tanımlanmıştır. Günlük kullanımda kavram, Oxford Sözlüğü'nde "konforlu, rahat, sağlıklı ve mutlu olma hali" olarak ifade edilirken; Türk Dil Kurumu'nda "gönenç olma, sağlığı yerinde olma, esenlik" anlamlarıyla

açıklanmaktadır (Attepe-Özden vd., 2017). Bu tanımlar, iyi olma halinin yalnızca sağlık durumu ile değil, bireyin yaşamdan aldığı doyum ve huzurla da doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Literatürde iyilik hali kavramı ilk kez Halbert Dunn tarafından 1961 yılında, bireyin yetenek ve becerilerini en üst düzeyde kullanabilmesini amaçlayan bir yaklaşım olarak ele alınmıştır (Çankaya, 2020). Zaman içerisinde kavram, yaşam doyumu, olumlu ruhsal durum ve genel mutluluğu kapsayan çatı bir kavram hâline gelmiştir (Dursun, 2012). Bu bağlamda iyilik hali; olumlu düşünceler, iyimserlik, benlik algısı ve bireyin kendini değerli hissetmesi gibi unsurlarla pozitif yönde ilişkili bir yapı olarak değerlendirilmektedir (Çolak vd., 2018).

Bu bütüncül yaklaşımı destekleyen tanımlardan biri de Myers vd. (2000) tarafından yapılmıştır. Myers ve arkadaşları, iyilik halini bireyin sosyal ve doğal çevresi içinde tam ve işlevsel olarak yaşayabilmesi için beden, zihin ve ruhun bütünleştiği optimal sağlık yönelimli bir yaşam biçimi olarak tanımlamaktadır (Çankaya, 2020). Bu yönüyle iyilik hali, bireyin bedensel, zihinsel ve ruhsal boyutlarda işlevselliğini geliştirmeyi amaçlayan ve yaşamın tüm alanlarına yayılan kapsamlı bir yaklaşım olarak ele alınmaktadır.

İyi oluşu açıklamak üzere literatür incelendiğinde, kavramın temelde iki farklı bakış açısı çerçevesinde ele alındığı görülmektedir. Bunlardan ilki hazcı (hedonic), diğeri ise psikolojik işlevsellik ya da ödamonik (eudaimonic) yaklaşımdır (Keyes, Shmotkin ve Ryff, 2002; Ryan ve Deci, 2001). Hazcı bakış açısı, iyi oluşu doyum ve mutluluk temelinde ele almakta; bireyin yaşamını kendi değerleri ve kişisel ölçütleri doğrultusunda nasıl algıladığına odaklanmaktadır. Bu yaklaşım doğrultusunda geliştirilen ölçümler, genellikle öznel iyi oluş (subjective well-being) kavramı altında ele alınmaktadır (Ergiyen, 2023).

Psikolojik işlevsellik yaklaşımı ise iyi oluşu, bireyin kendini gerçekleştirmesi ve tam işlevsellik göstermesi bağlamında değerlendirmektedir (Waterman, 1993). Bu yaklaşıma göre gerçek mutluluk, yalnızca haz ve doyumdan değil; otonomi, yeterlik, ilişkililik (Ryan ve Deci, 2001), yaşamda anlam ve amaçlılık (Waterman vd., 2010) gibi daha derin psikolojik gereksinimlerin karşılanmasından kaynaklanmaktadır (Ergiyen, 2023). Bu doğrultuda, hazcı yaklaşımda bireyin öznel değerlendirmeleri temel ölçüt olarak kabul edilirken; psikolojik işlevsellik yaklaşımında iyi oluş, sağlıklı işleyiş ve gelişim bağlamında ele alınmaktadır (Diener, 1984; Diener vd., 1999).

2.1.1. Öznel İyi Olma Hali

Öznel iyi olma hali, bireyin yaşamına ilişkin değerlendirmelerini; yaşadığı olumlu ve olumsuz duyguların sıklığı ile genel yaşam memnuniyeti düzeyi üzerinden ele alan bir kavramdır (Diener, 1984). Birey, yaşam sürecinde karşılaştığı olaylara verdiği duygusal tepkiler doğrultusunda kendi yaşamını değerlendirir ve olumlu duyguların baskın olduğu durumlarda öznel iyi olma halinin yüksek olduğu kabul edilir.

Diener'e (1984) göre öznel iyi olma hali üç temel bileşenden oluşmaktadır: bireyin kendi deneyimlerine dayalı öznel değerlendirmeleri, olumlu duyguların varlığı ve bilişsel boyutta yaşamdan duyulan genel memnuniyet. Bu yapı, öznel iyi olma halinin yalnızca olumsuzlukların yokluğu ile değil, bireyin yaşamını tatmin edici biçimde algılamasıyla ilişkili olduğunu göstermektedir.

Öznel iyi olma halini etkileyen faktörler üzerine yapılan çalışmalarda, bireysel ve çevresel değişkenlerin önemli rol oynadığı görülmektedir. Diener (1984), bu faktörleri biyososyal özellikler (yaş, cinsiyet), kişilik özellikleri ve sosyal destek unsurları olarak gruplandırırken; Dolan vd. (2008) gelir düzeyi, sosyal ilişkiler, bireysel tutumlar ve içinde bulunulan ekonomik ve sosyal çevreyi de kapsayan daha geniş bir çerçeve önermiştir (Alem ve Martinsson, 2010).

Yaşanılan çevrenin öznel iyi olma hali üzerindeki etkisine odaklanan araştırmalar, özellikle kentleşmenin bireylerin mutluluk düzeyleri üzerinde olumsuz etkiler yaratabildiğini ortaya koymaktadır. İsviçre'de yapılan bir çalışmada kentleşmenin sağlık durumu ve öznel iyi olma hali üzerinde negatif etkiler yarattığı belirlenmiştir (Gerdtham ve Johannesson, 1997). Benzer biçimde, Sander (2011) metropolitan alanlarda yaşayan bireylerin, daha az yoğun yerleşim alanlarında yaşayanlara kıyasla daha düşük mutluluk düzeylerine sahip olduğunu saptamıştır.

Öznel iyi olma hali ile boş zaman değerlendirme arasında da güçlü ve olumlu bir ilişki bulunmaktadır. Tinsley ve Tinsley (1986), boş zaman etkinliklerinin özellikle fiziksel ve psikolojik gereksinimlerin karşılanmasına katkı sağladığını; bunun da fiziksel sağlık, ruhsal denge ve yaşam memnuniyetini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

Literatürde öznel iyi olma halinin ölçümünde temel olarak hedonik, ödamonik ve zihin sağlığı temelli yaklaşımlar kullanılmaktadır. Hedonik yaklaşım bireyin mutluluk ve haz düzeyine odaklanırken, ödamonik yaklaşım yaşamın anlamı, psikolojik gereksinimler ve bireyin kendini gerçekleştirmesi gibi unsurları ön plana çıkarmaktadır (Ryff, 1989; Samman, 2007).

Öznel iyi olma hali, yaşam kalitesiyle karşılıklı etkileşim içerisinde olan bir kavramdır. Yaşam kalitesi çoğunlukla nesnel koşullarla değerlendirilirken, öznel iyi olma hali bireyin bu koşulları nasıl algıladığına ve yorumladığına dayanmaktadır. Bu nedenle öznel iyi olma halinin temel özelliği, bireysel değerlendirmelere ve kişisel bildirimlere dayanmasıdır (Ayan, 2017).

Bireyin iyi olma halinin yalnızca bireysel özelliklerle değil, içinde yaşadığı fiziksel ve sosyal çevreyle de yakından ilişkili olduğu kabul edilmektedir. Whitehead ve Dahlgren'in (1991) ortaya koyduğu model, iyi olma halinin biyolojik faktörlerin yanı sıra sosyal, ekonomik ve çevresel koşulların etkileşimiyle şekillendiğini göstermektedir (Tanrıkulu ve Aytuğ, 2025). Bu bağlamda doğayla etkileşim ve doğal çevrelerin bireylerin ruhsal ve duygusal durumları üzerindeki olumlu etkileri literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Kaplan ve Kaplan, 1989; Morris, 2003).

Doğal çevre ve yeşil alanlarla kurulan etkileşimin bireylerin stres düzeylerini azaltarak yenilenme, rahatlama ve psikolojik iyilik halini desteklediği; psiko-evrimsel teori, stres yenme teorisi ve dikkat restorasyonu teorisi gibi yaklaşımlarla açıklanmaktadır (Ulrich, 1984; Kaplan ve Kaplan, 1989; Wilson, 1984). Bu kuramsal yaklaşımlar, bireylerin iyi olma halinin desteklenmesinde kentsel yeşil alanlar ve özellikle kent parklarının önemli bir rol üstlendiğini ortaya koymakta ve bir sonraki bölümde ele alınacak olan kent parkları–iyi olma hali ilişkisine kuramsal bir zemin oluşturmaktadır.

2.2.Kent Parkı Kavramı

Hızlı kentleşme ile kentlerde yaşayan bireylerin yeşil alana olan ihtiyacı giderek artmıştır. Parklar yeşil alan niteliği ile bu ihtiyacı karşılamakta olup yapılı çevre içerisinde doğa-insan ilişkisinin kurulmasında rolü olan kamusal hizmet alanları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Literatürde birden fazla tanım bulunmakla birlikte, genel anlamda kent parkları çok çeşitli işlevleri sayesinde bireylerin sosyalleşmelerine ve aktif-pasif rekreasyon faaliyetlerini gerçekleştirmeye imkân tanıyan ve sağladıkları faydalar ile fiziksel, psikolojik ve sosyal sağlığımızı destekleyen rekreasyon alanları olarak tanımlanabilmektedir.

Kent parkları, kentsel yeşil alan kavramı, içerisinde bitkisel eleman bulunan açık alan olarak tanımlanmaktadır. 23804 sayılı İmar Yönetmeliği'ne göre yeşil alan "toplumun yararlanması için ayrılan oyun bahçesi, çocuk bahçeleri, dinlenme, gezinti, piknik, eğlence ve kıyı alanları toplamıdır. Metropol ölçekteki fuar, botanik ve hayvanat bahçeleri ve bölgesel parklar da yeşil alan kapsamındadır" olarak tanımlanmıştır (Müftüoğlu 2008).

Thompson (2002), kent parklarını, oyun ve spor alanlarını içeren, kentte daha geniş alanlarla, bitki örtüsüyle kent kentsel ekosistemi destekleyen ve geliştiren, açık yeşil alan sisteminin önemli bir parçası olarak tanımlamaktadır. Parklar, yürüyüş ve fiziksel aktiviteyi artırmak için en etkili rekreasyon biçimlerinden birini temsil etmektedir (Bird, 2004).

Ertekin (1992) ise kent parklarını, kentin ekolojik dengesini korumanın yanı sıra, farklı yaş gruplarının aktif ve pasif rekreasyon gereksinimlerini karşılayan kamusal açık alanlar olarak ele almaktadır (Özkır,2007).

Bu tanımlar doğrultusunda kent parkları; kentsel ekosistemi destekleyen, rekreasyonel olanaklar sunan ve bireylerin fiziksel, psikolojik ve sosyal gereksinimlerini karşılayan çok işlevli kamusal açık mekânlar olarak değerlendirilebilir.

2.2.1. Kent Parkı İşlevleri

Kent parkları, kent içerisinde doğa–insan ilişkisinin kurulmasına olanak tanıyan ve bireylerin fiziksel, sosyal ve psikolojik sağlığını destekleyen önemli kamusal açık mekânlardır (Ayan, 2017). Ekolojik ve rekreasyonel işlevleriyle parklar; fiziksel aktivite, sosyalleşme, zihinsel yenilenme ve stresin azaltılması gibi çok boyutlu faydalar sunarak bireylerin iyi olma hali ve yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır (Yücel, 2007; Ayan, 2017). Kullanım yoğunluğu ve süresinin artması, bireylerin sosyal etkileşimlerini güçlendirmekte ve kentsel yaşam kalitesine katkı sağlamaktadır.

Literatürde kent parklarının sunduğu işlevlerin; aktif ve pasif rekreasyon olanakları sağlama, doğayla temas kurma, toplumsal etkileşimi destekleme ve psikolojik yenilenmeye katkı sağlama başlıkları altında toplandığı görülmektedir (Ayan, 2017). Park kullanımına ilişkin yapılan çalışmalar, bireylerin bu alanları fiziksel aktivite, sakinleşme, sosyal etkileşim ve bilişsel yenilenme gibi nedenlerle kullandığını; kullanım sonrasında ise yenilenme, memnuniyet, alan bağlılığı ve genel iyi olma hali gibi olumlu etkilerin ortaya çıktığını göstermektedir (Irvine vd., 2013; Burgess vd., 1988; Chiesura, 2004). Bu bağlamda kent parklarının bireylerin iyi olma hali üzerindeki etkilerinin, parkların sahip olduğu mekânsal ve işlevsel niteliklerle doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

2.2.2. Kent Parkı Özellikleri

Bireylerin sağlıklı ve dengeli bir yaşam sürdürebilmeleri yalnızca fizyolojik gereksinimlerinin karşılanmasına değil, aynı zamanda psikolojik, sosyal ve çevresel ihtiyaçlarının da karşılanmasına bağlıdır. Maslow'un (1954) ihtiyaçlar hiyerarşisi, güvenlik, aidiyet, sosyalleşme ve kendini gerçekleştirme gibi gereksinimlerin yaşam kalitesi ve iyi olma hali üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu gereksinimlerin karşılanmasında bireyin içinde bulunduğu fiziksel çevre önemli bir rol oynamaktadır (Gür, 1996).

Kamusal açık mekânlar, bireylerin bu çok boyutlu gereksinimlerine yanıt verebilen temel kentsel alanlar olup, sahip oldukları fiziksel, mekânsal ve algısal özellikler aracılığıyla kullanıcı davranışlarını doğrudan etkilemektedir. Mekânın erişilebilirliği, konforu, güvenliği ve sunduğu olanaklar; kullanıcıların mekânı algılama biçimlerini, kullanım sıklığını ve mekânda geçirilen süreyi belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır (Whyte, 1980; Gehl, 2011; Ayan, 2017). Nitelikli kamusal mekânlar, bireylerin sosyal etkileşim kurmalarına, kendilerini güvende hissetmelerine ve psikolojik olarak rahatlamalarına olanak tanıyarak iyi olma hallerini desteklemektedir.

Kent parklarının mekânsal kalitesi; erişilebilirlik, güvenlik, konfor, bakım düzeyi ve aktivite çeşitliliği gibi temel özellikler üzerinden değerlendirilmektedir. Parkların konumunun kentle bütünleşik olması, yaya ve ulaşım bağlantılarının süreklilik göstermesi ve park içi dolaşımın anlaşılır biçimde düzenlenmesi, park kullanımını ve kamusal niteliğini güçlendirmektedir (Yücel, 2007; Çon, 2019). Bunun yanı sıra doğru bitkilendirme, yeterli aydınlatma ve düzenli bakım hem güvenlik algısını hem de kullanıcı memnuniyetini artırmaktadır (Çon, 2019).

Kent parklarında sunulan aktif ve pasif rekreasyon olanakları, parkların cazibesini ve kullanım yoğunluğunu artıran temel unsurlardan biridir. Yürüyüş, dinlenme, spor ve sosyal etkileşim gibi farklı etkinliklere olanak tanıyan parklar, farklı yaş ve kullanıcı gruplarının gereksinimlerine yanıt verebilmekte ve bireylerin fiziksel, psikolojik ve sosyal iyi olma hallerini desteklemektedir (Yücel, 2007; Ayan, 2017). Bu bağlamda kent parklarının planlama, tasarım ve yönetim süreçlerinde mekânsal kalite kriterlerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması, bireylerin iyi olma hali üzerindeki olumlu etkilerin ortaya çıkabilmesi açısından önem taşımaktadır.

3. İYİ OLMA HALİ ve KENT PARKI İLİŞKİSİ

Hızlı kentleşme ile yapı yoğunluğunun giderek artması ve yeşil alanların azalması, bireylerin daha hareketsiz ve stres odaklı bir yaşam tarzı benimsemesine yol açmakta; bu durum çeşitli sağlık sorunlarının artışına neden olmaktadır. Kent yaşamının getirdiği bu olumsuzluklar karşısında doğanın iyileştirici ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri dengeleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Doğal manzaraların bireylerde çoğunlukla pozitif duyguları beslediği; stres altındaki bireylerde korkuyu azaltma, dikkati sürdürme ve stresli düşünceleri hafifletme gibi etkiler yarattığı gözlemlenmiştir.

Yeşil alanlara sınırlı erişim ve doğadan kopuk bir yaşam tarzının, bireylerin stresle başa çıkma kapasitelerini azalttığı ve bunun mutsuzluk, huzursuzluk ve verimsizlik gibi olumsuz ruh hallerine yol açarak çeşitli sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına zemin hazırladığı belirtilmektedir (Tanrıkulu ve Aytuğ, 2025; Kaya ve Arslan Selçuk, 2018). Bu bağlamda yeşil

alanların, bireylerin fiziksel, zihinsel ve sosyal sağlıkları üzerinde koruyucu ve destekleyici bir role sahip olduğu görülmektedir.

Literatürde yeşil alanlar ile iyi olma hali arasında pozitif bir ilişki bulunduğunu ortaya koyan çok sayıda çalışma yer almaktadır (Ayan, 2017). Bu çalışmalar, doğa ile insan etkileşiminin bireylere fiziksel, zihinsel ve sosyal boyutlarda önemli katkılar sağladığını göstermektedir (Townsend ve Weerasuriya, 2010). Kentsel yeşil alanlar içerisinde değerlendirilen kent parkları ise, yoğun yapılaşma içerisinde doğa ile bağlantı kurulabilen temel kamusal açık mekânlar olarak öne çıkmaktadır. Parklar, tarihsel olarak hastalıkları, suçu ve sosyal huzursuzluğu azaltmak, havayı temizlemek, rekreasyon olanakları sunmak ve günlük yaşamın stresinden kaçış sağlamak amacıyla tasarlanmıştır (Bedimo-Rung vd., 2005; Wong ve Domroes, 2005; Maller vd., 2006).

Kent parkı kullanımı ve iyi olma hali arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalarda, bireylerin parkları fiziksel aktivite, doğada bulunma, sakinleşme, sosyal etkileşim, bilişsel yenilenme ve serbest zaman değerlendirme gibi nedenlerle kullandıkları ortaya konmuştur (Irvine vd., 2013; Burgess vd., 1988; Oguz, 2000). Irvine vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, parka geliş nedenleri fiziksel, çevresel kalite, çocuklara yönelik kullanım, bilişsel, sosyal ve yapılandırılmamış boş zaman etkinlikleri olmak üzere altı grupta ele alınmıştır. Park kullanımının ardından bireylerde yenilenme, enerji kazanımı, memnuniyet, alan bağlılığı ve genel iyi olma hali gibi olumlu etkilerin ortaya çıktığı belirlenmiştir (Ayan, 2017).

Benzer şekilde yapılan diğer araştırmalarda da bireylerin kent parklarını sakinleşmek, yürüyüş yapmak, spor ve egzersiz gerçekleştirmek, doğada bulunmak, arkadaşlarla buluşmak ve günlük yaşamdan kaçış sağlamak amacıyla kullandıkları saptanmıştır. Park kullanımından elde edilen kazanımlar ise dışarıda olma mutluluğu, sosyal ilişkilerin güçlenmesi, özgürlük hissi, doğa ile bütünleşme, sakinleşme ve canlanma olarak tanımlanmaktadır (Burgess vd., 1988; Dunnett vd., 2002; Chiesura, 2004; Abkar vd., 2010; Pinder, 2009).

Bununla birlikte, kent parklarının bireylerin iyi olma hali üzerindeki bu olumlu etkilerinin ortaya çıkabilmesi yalnızca parkların varlığına değil, aynı zamanda sahip oldukları mekânsal, işlevsel ve algısal niteliklere bağlıdır. Parkların erişilebilir olması, güvenli ve bakımlı bir çevre sunması, farklı yaş ve kullanıcı gruplarına hitap eden etkinlik ve mekân çeşitliliğine sahip olması, bireylerin bu alanları kullanma sıklığını ve mekânda geçirdikleri süreyi doğrudan etkilemektedir. Nitelikli tasarlanmış kent parkları, fiziksel aktiviteyi teşvik etmenin yanı sıra psikolojik yenilenme ve sosyal etkileşim için uygun ortamlar sunarak bireylerin fiziksel, zihinsel ve sosyal iyi olma bileşenlerini birlikte desteklemektedir (Ayan, 2017; Irvine vd., 2013; Chiesura, 2004).

Yeşil alanlar ve iyi olma hali arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, iyi olma halinin fiziksel, zihinsel ve sosyal bileşenlerinin özellikle kent parkları gibi kamusal açık mekânlar aracılığıyla güçlendiği görülmektedir (Ayan, 2017). Bu durum, kent parklarının sahip oldukları niteliklerin ve kalite kriterlerinin bireylerin iyi olma hali üzerindeki etkisinin değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

3.1.Fiziksel İyi Olma Hali ve Kent Parkı

Fiziksel iyi olma hali, bireylerin genel fiziksel sağlık durumlarını, enerji düzeylerini ve günlük yaşamda fiziksel aktiviteyi sürdürebilme kapasitelerini ifade etmektedir (Ware ve Sherbourne, 1992). Kentsel yaşamda artan yapılaşma ve hareketsiz yaşam biçimi, fiziksel sağlığı olumsuz etkileyen önemli bir unsur olarak öne çıkarken, kent parkları bu olumsuzlukları dengeleyebilen temel kamusal mekânlar arasında yer almaktadır.

Literatürde, bireylerin yaşadıkları çevredeki yeşil alan miktarı ile fiziksel sağlık göstergeleri arasında anlamlı ve pozitif ilişkiler olduğu ortaya konmuştur. Yaşam alanlarına yakın ve erişilebilir yeşil alanların varlığı, bireyleri düzenli fiziksel aktiviteye yönlendirmekte ve bu durum fiziksel iyi olma halini desteklemektedir (Maas vd., 2006). Ellaway vd. (2005), yeşil alan miktarının fazla olduğu çevrelerde yaşayan bireylerin, bu alanlara sınırlı erişimi olanlara kıyasla daha yüksek düzeyde fiziksel aktivite gerçekleştirdiklerini belirtmektedir.

Kent parklarının fiziksel iyi olma hali üzerindeki etkisi, yalnızca varlıklarıyla değil; erişilebilirlik, süreklilik, aktivite çeşitliliği ve mekânsal düzenleme gibi kalite kriterleriyle doğrudan ilişkilidir. Parkların konumu, yaya ve bisiklet bağlantılarıyla kent dokusu ile bütünleşmesi ve farklı kullanıcı gruplarına hitap eden donatı ve aktivite alanlarını içermesi, park kullanım sıklığını ve fiziksel aktivite düzeyini artırmaktadır (Ayan, 2017). Bu bağlamda, yürüyüş yollarının sürekliliği, spor alanlarının erişilebilirliği ve park içi dolaşım ağlarının kullanıcı dostu olması, fiziksel hareketliliği destekleyen temel mekânsal kriterler olarak öne çıkmaktadır.

Kent parklarında gerçekleştirilen düzenli fiziksel aktivitelerin, bireylerin genel sağlık durumları üzerinde önemli etkileri olduğu görülmektedir. Parklarda yapılan yürüyüş ve benzeri aktivitelerin kalp-damar hastalıkları, diyabet ve bazı kronik hastalıkların riskini azalttığı; aynı zamanda enerji düzeyini ve fiziksel dayanıklılığı artırdığı belirtilmektedir (Bird, 2002). Bu durum, parkların fiziksel iyi olma haline katkısının yalnızca kısa vadeli değil, uzun vadeli sağlık kazanımları açısından da önemli olduğunu göstermektedir.

Fiziksel iyi olma hali, park kullanımının yalnızca aktif faaliyetlerle sınırlı olmadığı durumlarda da desteklenmektedir. Yeşil alanlarla kurulan pasif etkileşimlerin (oturma, dinlenme, doğayı izleme gibi) fizyolojik yenilenmeye katkı sağladığı; kan basıncı ve stres düzeylerini düşürdüğü ifade edilmektedir (Van den Berg vd., 2007). Bu nedenle park tasarımında dinlenme alanları, gölgelendirilmiş alanlar ve oturma elemanlarının varlığı, fiziksel iyilik halini dolaylı olarak destekleyen kalite kriterleri arasında değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte, kent parklarının fiziksel iyi olma hali üzerindeki etkisi sosyal boyutla da ilişkilidir. Fiziksel aktiviteyi teşvik eden mekânsal özelliklerin aynı zamanda sosyalleşmeyi desteklediği; yeşil alan kullanımının bireyler arasında sosyal etkileşimi artırarak fiziksel aktiviteye katılımı olumlu yönde etkilediği belirtilmektedir (Cohen vd., 2008). Bu durum, fiziksel iyi olma halinin parkların sunduğu mekânsal ve işlevsel kalite kriterleri aracılığıyla çok boyutlu biçimde desteklendiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, kent parklarının fiziksel iyi olma hali üzerindeki etkisi; parkların erişilebilirliği, kullanım çeşitliliği, mekânsal sürekliliği ve kullanıcı dostu fiziksel özellikleri gibi kalite kriterlerinin bir arada sağlanmasına bağlıdır. Bu kriterler, kent parklarını yalnızca yeşil alanlar

değil, aynı zamanda bireylerin fiziksel sağlığını destekleyen temel kentsel mekânlar hâline getirmektedir.

3.2.Psikolojik İyi Olma Hali ve Kent Parkı

Psikolojik iyi olma hali, bireylerin zihinsel sağlık durumlarını, duygusal dengeyi ve stresle başa çıkma kapasitelerini kapsayan çok boyutlu bir kavramdır (Ryff, 1989). Günlük yaşamda karşılaşılan stres faktörleri, bireylerin hem fiziksel hem de psikolojik sağlıklarını doğrudan etkileyerek genel iyi olma hallerini zayıflatabilmektedir. Bu nedenle stres düzeyinin azaltılması ve zihinsel yenilenmenin desteklenmesi, psikolojik iyi oluşun temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Lazarus ve Folkman, 1984).

Yoğun yapılaşma ve çevresel baskıların hâkim olduğu kentsel alanlarda yaşayan bireylerin, yeşil alanlara erişimi olan ve bu alanları düzenli kullanan bireylere kıyasla daha yüksek stres düzeylerine ve daha düşük psikolojik iyilik haline sahip oldukları çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Yeşil alanlara yakın yaşayan ve bu alanlara daha sık erişim sağlayan bireylerin ise daha az sağlık sorunu yaşadığı, psikolojik iyi olma hali ve yaşam kalitesini daha yüksek düzeyde algıladıkları belirlenmiştir (Takano vd., 2002; Björk vd., 2008; Chiesura, 2003).

Doğanın psikolojik iyileştirici etkileri, çevre psikolojisi literatüründe geliştirilen kuramsal yaklaşımlar ile de desteklenmektedir. Ulrich'in "Stres İyileştirme Teorisi", doğal çevrelerin bireylerin stres düzeylerini düşürdüğünü, duygusal denge kazanmalarını sağladığını ve psikolojik iyileşmeyi teşvik ettiğini ortaya koymaktadır (Ulrich, 1984; 1999). Benzer biçimde Kaplan ve Kaplan'ın geliştirdiği "Dikkat Yenilenme Teorisi", doğal çevrelerde bulunmanın zihinsel yorgunluğu azalttığını ve bilişsel süreçlerin yeniden yapılandırılmasına olanak tanıdığını vurgulamaktadır (Kaplan ve Kaplan, 1989).

Kaplan ve arkadaşları (1983), doğanın bireylerde yarattığı bu rahatlama ve yenilenme hissini "doğanın canlandırıcı gücü" olarak tanımlamışlardır. Ulrich ise farklı çalışmalarında, doğal çevrede bulunmanın stres hormonları, kan basıncı ve duygu durumları üzerinde ölçülebilir olumlu etkiler yarattığını deneysel verilerle ortaya koymuştur (Ulrich, 1984; 1991a; 1991b; 1999; Ayan S.B., Durak M., Tazebay H. İ., 2018). Stigsdotter vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada da yeşil alanları daha sık ziyaret eden bireylerin daha düşük stres deneyimi yaşadıkları, yeşil alanlara uzak yerleşimlerde yaşayan bireylerde ise stres düzeyinin daha yüksek olduğu saptanmıştır (Ayan S.B., Durak M., Tazebay H. İ., 2018).

Kentsel yeşil alanlar içerisinde yer alan kent parkları, bu psikolojik iyileştirici etkilerin kent ölçeğinde deneyimlenebildiği başlıca mekânlar olarak öne çıkmaktadır. Ancak parkların psikolojik iyi olma hali üzerindeki etkisi yalnızca yeşil alan varlığıyla sınırlı olmayıp, bu alanların sahip olduğu mekânsal ve işlevsel kalite kriterleriyle doğrudan ilişkilidir. Parklarda algılanan güvenlik düzeyi, bireylerin mekânda kendilerini rahat ve tehditten uzak hissetmelerini sağlayarak stresin azalmasında temel bir rol oynamaktadır. Açık görüş alanları, yeterli aydınlatma ve düzenli bakım gibi unsurlar, psikolojik rahatlamayı destekleyen güvenli mekân algısının oluşmasına katkı sağlamaktadır (Yücel, 2007; Çon, 2019).

Bunun yanı sıra kent parklarında sunulan aktivite çeşitliliği, bireylerin farklı psikolojik ihtiyaçlarına yanıt verebilme açısından önem taşımaktadır. Yürüyüş, oturma, doğayı seyretme, sosyal etkileşim ya da yalnız kalma gibi farklı kullanım olanaklarının bir arada bulunması, bireylere seçim özgürlüğü sunarak psikolojik iyi oluşu desteklemektedir. Bu durum, Kaplan ve

Kaplan'ın dikkat yenilenme kuramında vurgulanan "uzaklaşma" ve "çekicilik" bileşenleriyle doğrudan ilişkilidir (Kaplan ve Kaplan, 1989).

Ayrıca park alanlarının mekânsal düzeninin okunabilir olması, dolaşımın kolay algılanabilmesi ve karmaşık olmayan bir mekânsal organizasyona sahip olması, bireylerin zihinsel yükünü azaltarak kaygı düzeylerinin düşmesine katkı sağlamaktadır. Bakımsız, düzensiz ve kontrolsüz alanlar psikolojik stres yaratırken; düzenli, temiz ve çevresel kalitesi yüksek parklar bireylerde sakinlik, kontrol ve konfor hissi oluşturmaktadır (Yücel, 2007; Ayan, 2017).

Sonuç olarak, kent parklarının psikolojik iyi olma hali üzerindeki olumlu etkileri; erişilebilirlik, güvenlik, aktivite çeşitliliği, mekânsal düzen ve bakım gibi kalite kriterlerinin bir arada sağlanmasına bağlıdır. Nitelikli biçimde planlanan ve yönetilen kent parkları, bireylerin stresle başa çıkma kapasitelerini artırarak zihinsel yenilenmeyi desteklemekte ve psikolojik iyi oluşun güçlenmesine önemli katkılar sunmaktadır (Ayan, 2017; Çon, 2019)

3.3.Sosyal İyi Olma Hali ve Kent Parkı

Sosyal iyi oluş, bireylerin sosyal ilişkilerindeki doyumu, topluma aidiyet duygusunu ve yalnızlıkla başa çıkma kapasitelerini ifade etmektedir (Keyes, 1998). Bireylerin sosyal çevreleriyle kurdukları ilişkilerin niteliği, yaşam memnuniyeti ve genel iyi olma hali üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda yeşil alanların ve özellikle kent parklarının sunduğu mekânsal olanaklar, sosyal etkileşimi destekleyen önemli kentsel ortamlar olarak öne çıkmaktadır (Ayan, 2017).

Yeşil alan kullanımı ile sosyal bağların kurulması arasında pozitif bir ilişki olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Cohen vd., 2008). Açık alan rekreasyonu, bireylerin sosyal çevreleriyle etkileşim kurmalarına olanak tanıyarak sosyal ilişkilerin güçlenmesini desteklemektedir (Roberts, 2019; Bratman vd., 2019). Cohen ve Wills (1985) tarafından geliştirilen Sosyal Destek Teorisi, sosyal çevreden alınan desteğin bireylerin stresle başa çıkma kapasitelerini artırdığını ve genel sağlık durumlarını olumlu yönde etkilediğini vurgulamaktadır (Aksu, 2024). Bu doğrultuda, kent parkları bireylerin sosyal destek ağlarını geliştirebilecekleri kamusal mekânlar olarak değerlendirilmektedir.

Kent parklarının sosyal iyi olma hali üzerindeki etkisi, yalnızca varlıklarıyla değil; erişilebilirlik, güvenlik, konfor ve aktivite çeşitliliği gibi mekânsal kalite kriterleriyle doğrudan ilişkilidir. Parkların farklı yaş ve sosyoekonomik gruplar tarafından eşit biçimde kullanılabilmesi, sosyal karşılaşmaları artırmakta ve toplumsal etkileşimi güçlendirmektedir (Harnik, 2003; Yücel, 2007). Ayrıca parkların güvenli algılanması, kullanıcıların mekânda daha uzun süre vakit geçirmesini ve sosyal ilişkiler kurmasını destekleyen temel bir faktördür (Yücel, 2007).

Kondo vd. (2018), açık alanlarda gerçekleştirilen grup etkinliklerinin bireylerin sosyal bağlarını güçlendirdiğini ve toplumsal aidiyet duygusunu artırdığını belirtmektedir. Benzer şekilde White vd. (2019), doğa temelli aktivitelerin bireyler arasındaki sosyal etkileşimi artırarak yalnızlık duygusunu azalttığını ortaya koymuştur (Aksu, 2024). Bu bulgular, kent parklarında sunulan etkinlik çeşitliliğinin ve ortak kullanım alanlarının**,** sosyal iyi olma hali üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymaktadır.

Kuo vd. (1998) tarafından mahalle ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalarda, yeşil alanların daha yoğun olduğu yerleşimlerde yaşayan bireyler arasında daha güçlü sosyal bağların kurulduğu saptanmıştır. Bu çalışmaları izleyen araştırmalarda, yeşil alan miktarının fazla olduğu mahallelerde saldırgan davranışların ve suç oranlarının daha düşük olduğu; bireylerin mutluluk ve umut düzeylerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Valverde vd., 2007). Bu sonuçlar, parkların mekânsal düzeni ve sosyal kullanımı teşvik eden tasarım özelliklerinin, toplumsal ilişkiler üzerinde koruyucu ve iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Kent parkları, bir araya gelmeyi kolaylaştıran açık mekân düzenlemeleri, oturma alanları, etkinlik mekânları ve ortak kullanım alanları sayesinde bireyler arasında etkileşimi artırmaktadır. Bu etkileşimler, bireylerin yaşadıkları çevreye olan aidiyet duygusunu güçlendirerek sosyal iyi olma halini desteklemektedir. Dolayısıyla kent parklarının sosyal iyi olma hali üzerindeki etkisi, parkların planlama, tasarım ve yönetim süreçlerinde sosyal etkileşimi destekleyen kalite kriterlerinin gözetilmesine bağlı olarak güçlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında, bireylerin iyi olma halinin fiziksel, psikolojik ve sosyal bileşenleri; kent parklarının mekânsal özellikleri ve kalite kriterleri çerçevesinde ele alınmıştır. Literatür bulguları, kent parklarının yalnızca yeşil alan varlığı ile değil, erişilebilirlik, güvenlik, konfor ve etkinlik çeşitliliği gibi niteliksel özellikleriyle bireylerin iyi olma halini çok boyutlu biçimde etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, kent parklarının planlama ve tasarım süreçlerinde söz konusu kriterlerin dikkate alınmasının, bireysel ve toplumsal ölçekte iyi olma halini destekleyen önemli bir araç olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen bu kuramsal çerçeve ışığında, çalışmanın sonuç bölümünde kent parkı–iyi olma hali ilişkisi bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, kentsel yeşil alanların önemli bir bileşeni olan kent parklarının bireylerin iyi olma hali üzerindeki etkilerini literatür temelli bir çerçevede ele almıştır. Fiziksel, psikolojik ve sosyal iyi olma hali bileşenleri doğrultusunda yapılan değerlendirmeler, kent parklarının yalnızca yeşil alan varlığıyla değil; sahip oldukları mekânsal, işlevsel ve yönetsel kriterler aracılığıyla bireylerin yaşam kalitesini çok boyutlu biçimde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Literatür bulgularına dayalı olarak oluşturulan Çizelge 1’de, kent parklarının fiziksel iyi olma hali üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Buna göre erişilebilirlik, yaya ve bisiklet bağlantıları, aktivite çeşitliliği, spor alanlarının varlığı, gölgelik alanlar ve donatı elemanları gibi kriterlerin bireylerin fiziksel aktivite düzeylerini artırarak hareketsiz yaşam biçimine bağlı sağlık risklerini azalttığı görülmektedir. Parkların düzenli bakımı, güvenli dolaşım ağları ve mevsimsel kullanıma olanak tanıyan tasarım özellikleri de fiziksel iyi oluşu destekleyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır.

Kent Parkı Kriteri	**Fiziksel İyi Olma Hali Üzerindeki Etkisi**	**Literatür**
Erişilebilirlik	Fiziksel aktivite sıklığını artırır	Maas vd., 2006
Yürüyüş yolları	Düzenli egzersizi teşvik eder	Ellaway vd., 2005
Gölgelik alanlar ve dinlenme mekânları	Aktivite süresini uzatır	Yücel, 2007
Bakım ve güvenlik	Güvenli kullanım sağlar	Harnik, 2003

Çizelge 1. Kent Parklarının Fiziksel İyi Olma Hali Üzerindeki Etkileri

Psikolojik iyi olma hali ile kent parkı kriterleri arasındaki ilişki Çizelge 2'de ele alınmıştır. Literatür, parkların erişilebilirliği, güvenlik algısı, mekânsal bütünlük, bitkisel çeşitlilik, görsel kalite ve sessiz alanların varlığının bireylerin stres düzeylerini azalttığını ve zihinsel yenilenmeyi desteklediğini ortaya koymaktadır. Doğal öğelerle temasın, dikkat yenilenmesi ve stresin azalması üzerindeki etkisi; Ulrich'in Stres İyileştirme Teorisi ile Kaplan ve Kaplan'ın Dikkat Yenilenme Teorisi çerçevesinde açıklanmaktadır. Bu bağlamda psikolojik iyi oluşun desteklenmesi, parkların yalnızca varlığıyla değil, algılanan güvenlik ve mekânsal kalite ile doğrudan ilişkilidir.

Kent Parkı Kriteri	**Psikolojik İyi Olma Hali Üzerindeki Etkisi**	**Literatür**
Doğal peyzaj ve yeşil doku	Stresin azalması	Ulrich, 1984
Sessiz ve sakin alanlar	Zihinsel yenilenme	Kaplan & Kaplan, 1989
Güvenlik algısı	Kaygı düzeyinin azalması	Yücel, 2007
Aktivite çeşitliliği	Duygusal denge ve memnuniyet	Ayan, 2017

Çizelge 2. Kent Parklarının Psikolojik İyi Olma Hali Üzerindeki Etkileri

Sosyal iyi olma hali açısından kent parklarının rolü Çizelge 3'te özetlenmiştir. Parkların sunduğu açık ve kapsayıcı mekânsal düzenlemeler, farklı yaş ve sosyoekonomik grupların bir araya gelmesine olanak tanıyarak sosyal etkileşimi ve toplumsal aidiyet duygusunu güçlendirmektedir. Aktivite çeşitliliği, oturma ve toplanma alanları, çocuk oyun alanları ve grup etkinliklerine uygun mekânlar sosyal bağların kurulmasını ve sürdürülmesini desteklemektedir. Literatür, yeşil alanların yoğun olduğu mahallelerde sosyal ilişkilerin daha güçlü, suç ve saldırgan davranışların ise daha düşük olduğunu göstermektedir.

Kent Parkı Kriteri	Sosyal İyi Olma Hali Üzerindeki Etkisi	Literatür
Ortak kullanım alanları	Sosyal etkileşimin artması	Kuo vd., 1998
Grup etkinliklerine uygun mekânlar	Aidiyet duygusunun gelişmesi	Kondo vd., 2018
Eşitlikçi erişim	Toplumsal bütünleşme	Harnik, 2003
Mekânsal süreklilik ve açıklık	Sosyal karşılaşmaların artması	Gehl, 2011

Çizelge 3. Kent Parklarının Sosyal İyi Olma Hali Üzerindeki Etkileri

Bu çerçevede kent parklarının bireylerin iyi olma haline katkısı; erişilebilirlik, güvenlik, bakım düzeyi, aktivite çeşitliliği, mekânsal kalite ve eşitlikçi kullanım gibi kriterlerin bir arada ele alınmasını gerektirmektedir. Parkların planlama, tasarım ve yönetim süreçlerinde bu kriterlerin göz ardı edilmesi, beklenen fiziksel, psikolojik ve sosyal faydaların ortaya çıkmasını sınırlayabilmektedir.

Sonuç olarak kent parkları, bireylerin iyi olma halini destekleyen çok boyutlu kentsel mekânlar olarak değerlendirilmelidir. Literatür bulguları, nitelikli ve sürdürülebilir kent parklarının planlama ve tasarım süreçlerinde kullanıcı ihtiyaçlarını merkeze alan, mekânsal kaliteyi gözeten ve sosyal eşitliği destekleyen bütüncül yaklaşımların önemini ortaya koymaktadır. Bu çalışma kapsamında sunulan değerlendirmelerin, yerel yönetimler, planlamacılar ve tasarımcılar için kentsel yeşil alan politikalarının iyi olma hali çerçevesinde geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

Abkar, M., Schariff, M., Kamal, M., Mariapan, M., Maulan, S. and Sheybani, M. 2010. The role of urban green spaces in mood change. Aust. J. Basic Appl. Sci. 4, 5352–5361.

Aksu, H. S. (2024). Açık alan rekreasyonunun psikolojik, sosyal ve fiziksel iyi oluş üzerindeki çok boyutlu etkileri. Journal of Management, Tourism and Foresight, 1(1), 63-89.

Alem, Y. and Martinsson, P. 2010. Subjective well-being and its determinants in urban Ethiopia. Web Site: http://www.researchgate.net/publication/228716020_ Subjective_well being_and_its_determinants_in_urban_Ethiopia Erişim Tarihi: 02.05.2013

Alpak, E., Düzenli, T., & Yılmaz, S. (2018). Kamusal Açık Mekânların Kalitesi ve Sosyal Etkileşim Üzerindeki Etkileri. Journal of History Culture and Art Research, 7(2), 624-638. doi: http://dx.doi.org/10.7596/taksad.v7i2.1508

Attepe-Özden, S., Pak, M. D., & İçağasıoğlu-Çoban, A. (2017). Sosyal Hizmette İyilik Hali Kavramı. Türkiye Sosyal Hizmet Araştırmaları Dergisi, 1(1), 87-104.

Ayan Sonkur B., DURAK M., TAZEBAY H. İ. 2. Uluslararası Sanat, Estetik Sempozyumu ve Sergisi, Elazığ, Türkiye, 19 - 21 Nisan 2018, ss.17-38, (Tam Metin Bildiri)

Ayan Sonkur B. (2017). Öznel İyi Olma Hali Üzerine Kent Parklarının Etkilerinin İrdelenmesi: Ankara Kenti Örneği. Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.Ankara

Bedimo-Rung, A., Mowen, A. and Cohen, D. 2005. The Significance of Parks to Physical Activity and Public Health: A conceptual model, American Journal of Preventive Medicine, vol. 28, no. 2S2, pp. 159–168

Bjork, J., Albin, M., Grahn, P., Jacobsson, H., Ardo, J., Wadbro, J., Skarback, E. 2008. Recreational values of the natural environment in relation to neighbourhood satisfaction, physical activity, obesity and wellbeing. Journal of Epidemiology & Community Health, 62(4), e2-e2. doi:10.1136/jech.2007.062414

Bolsoy, N.Sevil,N.(2006). Atatürk Üniversitesi .Hemşirelik Yüksekokulu Dergisi Cilt: 9 Sayı: 3.2006

Bratman, G. N., Anderson, C. B., Berman, M. G., & Cochran, B. (2019). Nature and mental health: An ecosystem service perspective. Science Advances, 5(7), eaax0903. https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0903

Burgess, J., Harrison, D. and Limb, M. 1988. People, parks and urban green: A study of popular meanings and values for open spaces in the city. Urban Studies 1988, 25, 455–573.

Chiesura, A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. Landscape and Urban Planning, 68(1), 129-138. doi: 10.1016/j.landurbplan.2003.08.003

Cohen, D. A., Inagami, S. and Finch, B. (2008). The built environment and collective efficacy. Health & Place14, 198–208

M.Çankaya.(2020). COVID-19 Pandemisi ve Sağlık Çalışanlarının İyilik Hali Değişimi. Internatıonal Congress on Socıal Scıences 7., 446-460

Çon, N.A. (2019). Kent parklarının mekansal özellikleri ile psikolojik iyi olma hali arasındaki ilişkinin irdelenmesi: Ankara Seğmenler Parkı örneği. Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara

DAHLGREN, G. ve WHİTEHEAD, M., 1991. Policies and strategies to promote social equity in health. Background document to WHO - Strategy paper for Europe [çevrimiçi]. Institute for Future Studies.

Diener, E. 1984. Subjective well being. PsychologicalBulletin, 95, 542-75.

Diener, E., Suh, E. M., Lucas, R. E., Smith, H. E. (1999), “Subjective Well-Being: Three Decades Of Progress”, Psychological Bulletin, 125, p. 276-302.

Dunnett, N., Swanwick, C. and Woolley, H. 2002. Improving Urban Parks, Play Areas and Green Spaces; Department for Transport, Local Government and the Regions Urban Research Report; The Stationary Office: London, UK.

Dursun, P. (2012). The role of meaning in life, optimism, hope, and coping styles in subjective well-being. (Unpublished Doctoral Dissertation). Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Ellaway, A., MacIntrye, S. and Bonnefoy, X. 2005. Graffiti, greenery, and obesity in adults: secondary analysis of European cross sectional survey. British Medical Journal, 331 (7514). pp. 611-612

Ergiyen, T. (2023). Sosyal kimlik yaklaşımından iyi oluş: Gruplar arası bağlamın ve grup-içi faktörlerin rolü, Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 8(1), 1-31.

Ertekin, N. 1992. Yesil Alan Olarak İzmir için Önemi Olan Kültürparkın Bitki Varlığının Saptanması, Korunması ve Gelistirilmesi Üzerine Arastırmalar. Ege Üniversitesi Peyzaj Mimarlıgı Anabilim Dalı, Master Tezi, İzmir

Fongar, C.; Aamodt, G.; Randrup, T.B.; Solfjeld, ben. Algılanan Yeşil Alan Kalitesi Önemli mi? Norveçli yetişkinlerin algılanan kalite bakış açılarını motivasyon ve ziyaret sıklığı ile ilişkilendirmek. *Uluslararası J. Çevre Araştırma Halk Sağlığı* **2019**, *16*, 2327.

Gehl, J. (1987). Life between Buildings, New York: Van Nostrand-Reinhold.

Gehl, J. (2011). *Cities for people*. Washington DC: Island Press.

Gerdtham, Ulf-G. and Johannesson, M. 1997. The relationship between happiness, health and socio-economic factors: results based on Swedish micro data. Department of Economics, Stockholm School of Economics, Stockholm, Sweden.

Gül, A. ve Küçük, V. 2001. Kentsel Açık-Yesil Alanlar ve Isparta Kenti Örneğinde İrdelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Yıl: 2001, (Sayı:2); ISSN: 1302-7085, Sayfa: 27-48.

Gür, Ş. (1996). Mekân Örgütlenmesi. Gür Matbaacılık.

Harnik, P. (2003). The excellent city park system, Washington: Trust for Public Land.

Irvine, K.N., Warber , S.L., Devine-Wright, P. and Gaston, K.J. 2013.Understanding Urban Green Space as a Health Resource: A Qualitative Comparison of Visit Motivation and Derived Effects among Park Users in Sheffield, UK. Int. J. Environ. Res. Public Health, 10, 417-442

İnceoğlu, M., Aytuğ, A. 2009. Kentsel Mekanlda Kalite Kavramı. Megaron. Cilt:4, Sayı:3. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi. İstanbul.

Kaplan, S., & Kaplan, R. (1989). The experience of nature: A psychological perspective. Cambridge University Press.

KAYA, H. ve ARSLAN SELÇUK, S., 2018. Biyofilik tasarım ve iyileştiren mimarlık: sağlık yapıları üzerine bir değerlendirme. Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences. 2 (3), s. 35-47.

Keyes, C. L. M. (1998). Social well-being. Social Psychology Quarterly, 61(2), 121-140. https://doi.org/10.2307/2787065

Keyes, C. L. M., Shmotkin, D., Ryff, C. D., (2002), "Optimizing Well-Being: The Emiprical Encounter of Two Traditions", Journal of Personality & Social Psychology, 82, 6, p. 1007-1023

Kondo, M. C., Fluehr, J. M., McKeon, T., & Branas, C. C. (2018). Urban green space and its impact on human health. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(2), 445. https://doi.org/10.3390/ijerph15020445

Kuo, F.E., Sullivan, W.C., Coley, R.L., Brunson, L., 1998. Fertile ground for community: inner-city neighborhood common spaces. Am. J. Commun. Psychol. 26 (6), 823–851.

Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). Stress, appraisal, and coping. Springer Publishing.

Ryff, C. D. (1989). Happiness is everything, or is it? Explorations on the meaning of psychological wellbeing. Journal of Personality and Social Psychology, 57(6), 1069-1081. https://doi.org/10.1037/0022- 3514.57.6.1069

Maas, J., Verheij, R.A., Groenewegen, P.P., de Vries, S., Spreeuwenberg, P., 2006. Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? Journal of Epidemiology and Community Health 60, 587–592.

Maller, C. and Townsend, M. 2006. Children's Mental Health and Wellbeing and Hands on Contact with Nature: Perceptions and principles of teachers', International Journal of Learning, vol. 12, no. 4, pp. 359–372.

Maslow, A. H. (1954). *Motivation and personality.* New York: Harper & Row.

Morris, N. 2003. Literature Review: Health, wellbeing and open space, OPENspace research center, Edinburgh College of Art and Heriot-Watt University, Edinburgh

Müftüoğlu, V. 2008. Kentsel Açık-Yeşil Alan Karar ve Uygulamalarının İmar Mevzuatı Kapsamında Ankara Kent Örneğinde İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Myers, J. E., Sweeney, T. J. & Witmer, J. M. (2000). The Wheel of Wellness Counseling for Wellness: A Holistic Model for Treatment Planning. Journal of Counseling and Development,78: 251-266.

Oguz, D. 2000. User surveys of Ankara's urban parks. Landsc. Urban. Plan. 52, 165– 171

Özgüner, H. 2003. Kentsel Peyzajlarda Doğal Stilin Fonksiyonel Değerleri ve Bunların Klasik Stille Karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergi. Seri:A, Sayı:2, Sayfa: 19-36. Isparta.

Özgüner, H. 2004. Doğal peyzajın insanların psikolojik ve fiziksel sağlığı üzerine etkileri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, Sayı: 2, Sayfa:97-107

Özkır, A. 2007. Kent Parkları Yönetim Modelinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı. Ankara.

Pinder, R.. Kessel, A.. Green, J. and Grundy, C. 2009. Exploring perceptions of health and the environment: A qualitative study of Thames Chase Community Forest. Health Place, 15, 349–356.

Roberts, D. (2019). Health and urban green space: A systematic review of current research. Urban Forestry & Urban Greening, 43, 126362. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126362

Russo, A. (2024). Kentsel Yeşil Alanlar ve Sağlıklı Yaşam: Peyzaj Mimarlığı Perspektifi. *Kentsel Bilim.* **2024**, *8*(4), 213; **https://doi.org/10.3390/urbansci8040213**

Ryan, R. M., ve Deci, E. L. (2001). On happiness and human potentials: A review of research on hedonic and eudaimonic well-being. Annual review of psychology, 52(1), 141-166. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.141

Ryff, C. 1989. Happiness is everything, or is it? Explorations on the meaning of psychological well-being. Journal of Personality and Social Psychology, 57, 1069–1081.

Samman, E. 2007. Psychological and Subjective Wellbeing: A Proposal For Internationally Comparable Indıcators. Oxford Poverty and Human Development Initiative (OPHI) Paper Series.

Sander, W. 2011. Location and happiness in the United States. Economics Letters, 112, pp. 277–279.

Shepley, M.; Sachs, N.; Sadatsafavi, H.; Fournier, C.; Peditto, K. Yeşil alanların kentsel ortamlarda şiddet suçlarına etkisi: Bir kanıt sentezi. *Uluslararası J. Çevre Araştırmaları Halk Sağlığı* **2019**, *16*, 5119.

Stıgsdotter, U.K., Ekholm, O., Schıpperıjn, J., Toftager, M., Jørgensen, F.K., Randrup, T.B. 2010. Health Promoting Outdoor Environments – Associations Between Green Space, And Health, Health-Related Quality Of Life And Stress Based On A Danish National Representative Survey. Scandinavian Journal of Public Health, 38: 411–417

Takano, T., Nakamura, K., Watanabe, M., 2002. Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable gren spaces. J. Epidemiol. Commun. H 56, 913– 918.

TANRIKULU, F. E. ve AYTUĞ. A., 2025. Konut Açık ve Yeşil Alanlarının İyi Oluş Hali Üzerindeki Etkisi: İstanbul ve Dünyadan On Farklı Örnek Üzerine Bir İnceleme. bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design. 6 (1), s. 98-118.

Thompson, C. W. (2002). Urban open-space in the 21st century. Landscape and Urban Planning 60, 59- 72.

Tinsley, H.E.A. and Tinsley, D.J. 1986. A theory of the attributes, benefits and causes of leisure experience. Leisure Sciences. 8: 1-45.

Townsend, M. and Weerasuriya, R. 2010. The benefits of contact with nature for mental health and well-being. Project conducted by Deakin University 221 Burwood Highway Burwood VIC Australia 3125

Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. Science, 224(4647), 420- 421. https://doi.org/10.1126/science.6143402

Ulrich, R. S., Dimberg, U. and Driver, B. L. 1991a. Psychophysiological indicators of leisure benefits. In Driver, B. L., Brown, L. R. and Peterson, G. L. (eds) Benefits of Leisure. Venture Publishing, State College, Pennsylvania, pp. 73–89.

Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A. and Zelson, M. 1991b. Stress recovery during exposure to natural and urban environments. Journal of Environmental Psychology, 11, 231–248.

Ulrich, R. S. 1993. Biophilia, Biophobia, and Natural Landscapes. In Kellert, S.R. and Wilson, E.O. (Eds.) The Biophilia Hypothesis. Washington, DC: Island Press.

Ulrich, R.S., 1999. Effects of gardens on health outcomes: theory and research. In: Cooper-Marcus, C., Barnes, M. (Eds.), Healing Gardens: Therapeutic Benefits and Design Recommendations. Wiley, New York, pp. 27–86.

Valerde, M.D., Fry, G., Tveit, M., 2007. Health effects of viewing landscapes – Landscape types in environmental psychology. Urban Forestry & Urban Greening 6 (2007) 199–212

Van den Berg, A. E., Hartig, T. and Staats, H. 2007. Preference for nature in urbanized societies: stress, restoration, and the pursuit of sustainability. Journal of Social Issues 63(1), 79–96.

Verheij, R.A., Maas, J. and Groenewegen, P.P. 2008. Urban–Rural Health Dıfferences And The Avaılabılıty Of Green Space. European Urban And Regional Studies 15: 307

Yücel, F. G. 2007. Kalitesi Kent Parkı Tasarımı. Mimarlık Dergisi, Sayı:334 MartNisan.

Ware, J. E., & Sherbourne, C. D. (1992). The MOS 36-item short-form health survey (SF-36): I. Conceptual framework and item selection. Medical Care, 30(6), 473-483. https://doi.org/10.1097/00005650- 199206000-00002

Waterman, A.S., (1993), "Two Conceptions of Happiness: Contrasts of Personal Expressiveness (Eudaimonia) and Hedonic Enjoyment", Journal of Personality and Social Psychology, 64, p. 678-691

Waterman, A. S., Schwartz, S. J., Zamboanga, B. L., Ravert, R. D., Williams, M. K., Bede Agocha, V., ... ve Brent Donnellan, M. (2010). The Questionnaire for Eudaimonic Well-Being: Psychometric properties, demographic comparisons, and evidence of validity. The Journal of Positive Psychology, 5(1), 41-61. https://doi.org/10.1080/17439760903435208

White, M. P., Alcock, I., Grellier, J., Wheeler, B. W., & Fleming, L. E. (2019). Spending at least 120 minutes a week in nature is associated with good health and wellbeing. Scientific Reports, 9, 7730. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44097-3

World Health Organization. (1948). *Constitution of the World Health Organization*. Geneva: WHO.

World Health Organization (WHO). (2017). *One Health*. Geneva: World Health Organization. https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/one-health

Whyte, W. H. (1980). The Social Life of Small Urban Spaces, Washington DC: The Conservation Foundation.

Wilson, E.O. 1984. Biophilia. Harvard, MA: President and fellows of Harvard College.

Wo, J.C.; Rogers, E.M. Kentsel Yeşil Alan ve Mahalle Suçu. *Kriminoloji* **2024**, *62*, 236–275

Wong, K. and Domroes, M. 2005. The visual quality of urban park scenes of Kowloon Park, Hong Kong: Likeability, affective appraisal, and cross cultural perspectives, Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 32, pp. 617–632.

MİKROKLİMA DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ: ÖLÇÜM TEKNİKLERİ ve UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bilge TEPELİ[1]

İzmir Demokrasi Üniversitesi/Peyzaj Mimarlığı

bilge_tepeli@hotmail.com - 0009-0004-1895-1186

Prof. Dr. Nurdan ERDOĞAN[2]

İzmir Demokrasi üniversitesi/Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı,

nurdan.erdogan@idu.edu.tr - 0000-0002-0642-5566

ÖZET

Kentsel peyzajın yapısal özellikleri, küçük ölçekli iklim süreçlerini doğrudan etkileyerek mikroklimatik koşulların oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır. Yapı yoğunluğu, yüzey malzemeleri, bitkilendirme düzeni ve gölgeleme elemanları; sıcaklık dağılımı, rüzgâr akımı, güneşlenme ve yüzey ısısı gibi temel parametrelerde önemli farklılıklar yaratmaktadır. Bu nedenle mikroklimanın doğru şekilde ölçülmesi ve değerlendirilmesi hem termal konforun artırılması hem de peyzaj performansının iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Literatürde mikroklimayı değerlendirmek amacıyla kullanılan yöntemler iki başlık altında toplanmaktadır: doğrudan ölçüm teknikleri ve modelleme/simülasyon tabanlı analizler. Doğrudan ölçümlerde meteorolojik sensörler, veri kaydediciler, anemometreler, termal kameralar ve radyasyon ölçerler kullanılarak sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yüzey sıcaklığı gibi veriler sahada kayıt altına alınmaktadır. Modelleme tabanlı yaklaşımlar ise ENVI-met, RayMan, SOLWEIG, SkyHelios, OpenFOAM ve benzeri uygulamalarla gölgeleme, ısı adası etkisi ve termal konfor parametrelerini farklı senaryolar altında analiz etmektedir. Bu araçlar, özellikle planlama ve tasarım aşamalarında, değişkenlerin etkisini önceden görmek için önemli bir karar destek görevi üstlenmektedir.

Yapılan incelemeler, her modelleme aracının veri gereksinimleri, kullanım ölçeği, doğruluk düzeyi ve kullanıcı profiline göre değişen avantaj ve sınırlılıklar taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle kentsel mikroklimayı değerlendirmede kullanılacak yöntemin, uygulamanın amacı, beklentileri ve analiz ölçeği doğrultusunda seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, mikroklima ölçüm ve değerlendirme araçlarını karşılaştırmalı bir yaklaşımla ele alarak, planlama ve peyzaj tasarım süreçlerinde en uygun yöntemin belirlenmesine yönelik bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikroklima, Mikroklima Ölçüm Modelleri, Kentsel Mikro İklim

Bu çalışma Prof. Dr. Nurdan ERDOĞAN[1] danışmanlığında Bilge TEPELİ[2] tarafından hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ

Kentleşme süreci, 18. yüzyılda yaşanan sanayi devrimi ile ivme kazanmış; kentlerde ekonomik, sosyal ve fiziksel hizmet alanlarının gelişmesiyle birlikte kırdan kente yoğun göç hareketleri yaşanmıştır. Bu süreç, kentlerde sosyal dönüşümün yanı sıra arazi kullanım desenlerinde de önemli değişimlere yol açmıştır (Hamada ve Ohta, 2010). Hizmet alanlarının genişlemesiyle birlikte, kent içindeki ve çevresindeki doğal peyzajlar taş ve beton yüzeylerle yer değiştirmiş; kırsal saçak olarak tanımlanabilecek doğal peyzaj elemanları kent merkezlerinden giderek daha uzağa itilmiştir. Artan endüstriyel, ticari ve ulaşım altyapıları, büyüyen kentin ihtiyaçlarını karşılamak üzere geliştirilirken, doğal sistemler üzerindeki baskı da artmıştır. Kentleşme ve sanayileşme süreçleri, atmosferin sınır tabakasındaki ısı ve su döngüsünü etkileyerek kent ikliminin kırsal alanlardan belirgin biçimde farklılaşmasına neden olmaktadır (Yüksel Ü., 2005). Özellikle yeşil alanlar ve yüzey suyu varlığındaki eksiklik, kentsel alanlarda ısı birikimini artırmakta ve şehirlerin daha yüksek sıcaklık rejimlerine maruz kalmasına yol açmaktadır. Bu durum, kentsel ısı adası etkisinin güçlenmesine ve kullanıcıların termal konfor koşullarının bozulmasına neden olmaktadır.

Bu bağlamda, kentsel çevrenin iklimsel davranışını küçük ölçeklerde ele alan mikroklima kavramı, sürdürülebilir planlama ve peyzaj tasarımı açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Mikroklima, belirli bir alanın atmosferik koşullarının çevresindeki daha geniş bölgenin ortalama iklim koşullarından farklılaştığı yerel iklim durumu olarak tanımlanmakta; bu farklılaşma sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu gibi parametrelerde gözlemlenmektedir. Kentsel peyzajın yapısal özellikleri, yüzey malzemeleri, bitki örtüsü ve yapılı çevre formu, bu mikroklimatik parametreler üzerinde doğrudan etkili olmakta; dolayısıyla mikroklima, peyzaj planlama ve kentsel tasarım kararlarıyla yönlendirilebilen bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Bu yönüyle mikroklima, yalnızca iklimsel bir tanımlama değil; kentsel açık alanlarda termal konforun artırılması, ısı adası etkisinin azaltılması ve iklim uyumlu tasarım stratejilerinin geliştirilmesi açısından işlevsel bir planlama aracı sunmaktadır.

Literatürde, yeşil alanların nitelikleri ne olursa olsun kentsel sıcaklıklar üzerinde olumlu etkiler yarattığı ve kendilerine özgü mikroiklim alanları oluşturduğu ortaya konmuştur (Elma, 2023). Bununla birlikte, farklı tip ve özellikteki yeşil alanların kent mikroklimasına etkilerinin farklı derecelerde olduğu ve bu farklılıkların alanın iç özellikleriyle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Boucher vd., 2013). Kentsel yeşil alanlarda gözlenen soğutma ve ısıtma etkilerinin yalnızca yeşil alanın kendi özelliklerine değil, yakın çevredeki yapılı çevrenin formuna da bağlı olduğu tespit edilmiştir (Adıgüzel, 2018). Bu bulgular, mikroklimanın yalnızca tekil peyzaj elemanları üzerinden değil, bütüncül bir mekânsal sistem olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Geçmişten günümüze kentsel mikroklimayı nicelleştirmek ve değerlendirmek amacıyla saha ölçümleri, uzaktan algılama, CBS tabanlı değerlendirmeler ve hesaplamalı simülasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Literatürde mikroklimanın değerlendirilmesine yönelik çalışmalar, ağırlıklı olarak saha temelli ölçümler ve hesaplamalı simülasyon yaklaşımları üzerinden ele alınmaktadır. Saha ölçümleri, mikroklimatik koşulların yerinde ve gerçek çevresel bağlamda belirlenmesine olanak tanısa da ölçümlerin belirli noktalara ve sınırlı zaman dilimlerine bağlı olması, kentsel alanların karmaşık mekânsal yapısının bütüncül biçimde temsil edilmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle farklı mekânsal düzenlemelerin ve tasarım senaryolarının

karşılaştırılması söz konusu olduğunda, saha temelli yaklaşımların tek başına yeterli olmadığı görülmektedir.

Bu bağlamda literatürde, mikroklimatik süreçlerin değerlendirilmesinde simülasyon ve modelleme tabanlı araçların giderek daha fazla öne çıktığı dikkat çekmektedir. Hesaplamalı mikroklima modelleri, kentsel morfoloji, yüzey özellikleri ve iklim verilerini birlikte ele alarak, henüz uygulanmamış tasarım kararlarının mikroklima üzerindeki olası etkilerinin öngörülmesine ve farklı senaryoların karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır. Bu yönüyle simülasyon yaklaşımları, saha ölçümlerinin alternatifi olarak değil; özellikle kentsel mikroklima çalışmalarında analiz kapsamını genişleten ve planlama ile peyzaj tasarımı süreçlerinde karar destek sağlayan tamamlayıcı araçlar olarak değerlendirilmektedir (Oke, 1987; Mirzaei & Haghighat, 2010; Bherwani vd., 2020).

Bu çalışma, mikroklima değerlendirme yaklaşımlarını kentsel bağlamla sınırlı olarak ele almakta; literatürde kullanılan farklı simülasyon ve modelleme araçlarını, kullanım amaçları, ele aldıkları mekânsal ölçekler ve sundukları çıktılar açısından karşılaştırmalı bir çerçevede incelemeyi amaçlamaktadır.

2. KENTSEL MİKROKLİMA ve DEĞERLENDİRME YAKLAŞIMLARI

Mikroklima, belirli bir alanın atmosferik koşullarının, çevresindeki daha geniş bölgenin ortalama iklim özelliklerinden farklılaştığı yerel iklim durumunu ifade etmektedir. Bu farklılaşma; yüzey özellikleri, bitki örtüsü, topografya ve yapılı çevre gibi mekânsal bileşenlerin etkisiyle ortaya çıkmakta ve kısa mesafelerde dahi mikroklimatik parametrelerde belirgin değişimlere neden olabilmektedir (Oke, 1987). Bu çalışmada mikroklima kavramı genel çerçevesiyle ele alınmakla birlikte, değerlendirmeler kentsel alanlarda oluşan mikroklimatik koşullarla sınırlandırılmıştır.

Kentsel mikroklima, mikroklima kavramının yapılı çevre koşulları altında yeniden şekillendiği özel bir alt bağlam olarak tanımlanmaktadır. Literatürde kentsel alanlarda yapı yoğunluğu, sokak geometrisi, yüzey malzemeleri ve yeşil alanların dağılımı gibi fiziksel bileşenlerin, yerel iklim koşullarını doğal çevrelere kıyasla farklı biçimlerde etkilediği vurgulanmaktadır (Oke, 1987; Arnfield, 2003). Bu bileşenler, özellikle hava sıcaklığı, rüzgâr alanları ve kısa–uzun dalga radyasyon dengesi üzerinde belirleyici olmakta; kentsel mekânlarda mikroklimatik koşulların insan ölçeğinde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Oke, 1987). Bu doğrultuda kentsel mikroklima, planlama ve peyzaj tasarımı süreçlerinde mekânsal kararların iklimsel etkilerinin anlaşılması ve iklim duyarlı tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından önemli bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır (Arnfield, 2003).

Bu bölümde, kentsel mikroklimanın değerlendirilmesine yönelik yaklaşımlar literatür üzerinden ele alınmakta; kullanılan yöntemler ve araçlar, ele aldıkları mikroklimatik parametreler, mekânsal ölçekler ve sundukları analiz olanakları doğrultusunda incelenmektedir. Böylece mikroklima değerlendirme yaklaşımlarının, kentsel planlama ve peyzaj tasarımı süreçlerinde hangi koşullarda ve hangi amaçlarla öne çıktığına ilişkin kavramsal bir çerçeve sunulmaktadır. İnceleme kapsamında, mikroklimanın değerlendirilmesine yönelik yöntemler; saha temelli ölçümler ile hesaplamalı simülasyon ve modelleme yaklaşımları olmak üzere iki ana grupta ele alınmıştır. Bu sınıflandırma, yöntemlerin kullanım amaçları ve sağladıkları analiz olanakları dikkate alınarak yapılmıştır.

2.1.Mikroklimatik Parametreler

Bu çalışmada kentsel mikroklima değerlendirmesi, literatürde yaygın olarak kullanılan mikroklimatik parametreler üzerinden ele alınmıştır. Mikroklima, belirli bir alanın atmosferik koşullarının çevresindeki daha geniş bölgenin ortalama iklim özelliklerinden farklılaştığı yerel iklim durumu olarak tanımlanmakta ve bu farklılaşma çeşitli mikroklimatik parametreler aracılığıyla değerlendirilmektedir. Mikroklima çalışmalarında hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu temel parametreler arasında yer almaktadır. Bu parametreler, kentsel alanlardaki mikroklimatik farklılıkların değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hava sıcaklığı, farklı yüzey türlerinin ve bitki örtüsünün ısı depolama ve yayma özelliklerini yansıtırken; bağıl nem, özellikle bitkisel alanlar ve su yüzeylerinin evapotranspirasyon etkisini ortaya koymaktadır. Rüzgâr hızı ve yönü, kentsel formun hava dolaşımı üzerindeki etkisini açıklamada önemli bir rol oynarken, güneş radyasyonu ise gölgeleme, yüzey albedosu ve yapı yoğunluğu gibi mekânsal özelliklerle doğrudan ilişkilidir. Bu parametreler, mikroklimatik koşulların nicel olarak değerlendirilmesine olanak tanımakta ve kentsel peyzajın iklimsel performansının analiz edilmesinde temel göstergeler olarak kullanılmaktadır. Literatürde bu parametrelerin saha temelli ölçümler, uzaktan algılama teknikleri ve hesaplamalı yöntemler aracılığıyla ele alındığı vurgulanmaktadır (Mirzaei ve Haghighat, 2010; Bherwani vd., 2020). Bu nedenle mikroklimatik parametreler, tek başına değil, izleyen değerlendirme yaklaşımlarıyla birlikte ele alınması gereken bileşenler olarak değerlendirilmektedir.

2.2. Mikroklima Değerlendirme Yaklaşımları

Geçmişten günümüze kentsel mikroklimayı nicelleştirmek ve değerlendirmek amacıyla farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar genel olarak saha verisine dayalı ölçüm ve veri toplama yöntemleri, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı değerlendirmeler ile hesaplamalı simülasyon ve modelleme yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır (Oke, 1987; Arnfield, 2003; Bherwani vd., 2020).

Saha temelli çalışmalarda, kentsel alanın farklı noktalarından hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve radyasyon gibi mikroklimatik parametreler doğrudan ölçülerek mekânsal ve zamansal farklılıklar ortaya konulmaktadır. Kentsel mikroklima araştırmalarının erken dönem çalışmalarında, bu tür ölçümlere dayalı yaklaşımların baskın olduğu ve mikroklimatik süreçlerin ağırlıklı olarak gözlemsel veriler üzerinden değerlendirildiği belirtilmektedir (Oke, 1987; Mirzaei ve Haghighat, 2010). Saha temelli ölçümler, mikroklimatik koşulların yerinde ve doğrudan belirlenmesine olanak tanımakla birlikte, ölçümlerin belirli noktalara ve sınırlı zaman dilimlerine bağlı olması nedeniyle kentsel ölçekte genelleme yapılmasını zorlaştırabilmektedir (Weng, 2009; Stewart & Oke, 2012).

Bunun yanı sıra, uzaktan algılama ve CBS tabanlı yaklaşımlar, yüzey sıcaklığı, arazi örtüsü ve kentsel morfoloji gibi değişkenlerin geniş alanlarda değerlendirilmesine olanak tanımakta; özellikle bölgesel ölçekli analizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Weng, 2009; Stewart ve Oke, 2012). Hesaplamalı simülasyon ve mikroklima modelleme yöntemleri ise farklı kentsel tasarım senaryolarının mikroklima üzerindeki olası etkilerinin öngörülmesinde kullanılmakta olup, bu yaklaşımların her birinin farklı amaçlara hizmet ettiği, kullanılan parametreler ve elde edilen çıktılar bakımından birbirinden ayrıştığı görülmektedir (Arnfield, 2003; Bherwani vd., 2020). Literatürde yer alan çalışmalar, mikroklima değerlendirme yaklaşımlarının tek bir

yöntem üzerinden ele alınmasının sınırlı kaldığını; kullanılan yaklaşımın çalışmanın amacı, mekânsal bağlamı ve beklenen çıktı türüne göre seçilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Mirzaei & Haghighat, 2010; Bherwani vd., 2020). Bu nedenle mikroklima değerlendirmesi, farklı yaklaşımların bir arada ele alındığı ve birbirini tamamlayan bir çerçeve içerisinde değerlendirilen çok boyutlu bir süreç olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 1'de sunulan içerik, iki farklı ancak birbiriyle ilişkili bileşenden oluşmaktadır. Çizelgenin üst bölümünde, mikroklimanın değerlendirilmesinde literatürde yaygın olarak kullanılan temel mikroklimatik parametreler yer almakta; alt bölümünde ise bu parametrelerin elde edilmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan başlıca ölçüm ve değerlendirme yaklaşımları özetlenmektedir. Bu iki bileşen, aynı kavramsal kategoriye ait olmamakla birlikte, mikroklima değerlendirme sürecinin birbirini tamamlayan aşamalarını temsil etmektedir. Bu nedenle parametreler ve değerlendirme yaklaşımları, aralarındaki ilişkiyi görünür kılmak amacıyla aynı çizelge içerisinde birlikte sunulmuştur.

Değerlendirme Bileşeni	**Açıklama**	**Kullanılan Yöntem / Yaklaşım**	**Planlama ve Kentsel Tasarım Sürecindeki Kullanımı**	**Hedef Kullanıcı Profili**	**Literatür**
Hava sıcaklığı (Ta)	Kentsel ısı birikiminin temel göstergesi	Saha ölçümleri, uzaktan algılama	Isı adası tespiti, açık alan konfor analizi	Öğrenci, akademisyen, plancı	Mirzaei & Haghighat (2010); Bherwani vd. (2020)
Bağıl nem (RH)	Termal konforu ve buharlaşmayı etkiler	Saha ölçümleri, modelleme	Açık alan kullanım kalitesi	Öğrenci, akademisyen	Bherwani vd. (2020)
Rüzgâr hızı ve yönü	Isı ve hava akışı üzerinde etkilidir	Saha ölçümleri, hesaplamalı analiz	Havalandırma, kentsel yönlenme	Akademisyen, plancı, tasarımcı	Mirzaei & Haghighat (2010)
Güneş ve uzun dalga radyasyonu	Yüzey ve algılanan sıcaklığı belirler	Uzaktan algılama, modelleme	Gölgeleme ve açık alan tasarımı	Akademisyen, tasarımcı	Bherwani vd. (2020)

Değerlendirme Bileşeni	**Açıklama**	**Kullanılan Yöntem / Yaklaşım**	**Planlama ve Kentsel Tasarım Sürecindeki Kullanımı**	**Hedef Kullanıcı Profili**	**Literatür**
Yeşil alan varlığı ve niteliği	Mikroklima düzenleyici doğal unsur	Saha gözlemi, CBS analizi	Yeşil altyapı ve açık alan planlaması	Öğrenci, akademisyen, plancı, tasarımcı	Elma (2023); Boucher vd. (2013)
Yapılı çevre morfolojisi	Rüzgâr ve radyasyon dağılımını etkiler	CBS, morfolojik analiz	Kentsel form kararları	Öğrenci, akademisyen, plancı	Adıgüzel (2018)
Saha temelli ölçüm yaklaşımı	Gerçek mikroklimatik koşulların belirlenmesi	Taşınabilir sensörler	Mevcut durum analizi	Öğrenci, akademisyen	Kolokotroni vd. (2006); Radhi & Sharples (2013)
Hesaplamalı mikroklima modelleme	Senaryo üretimi ve karar destek	Simülasyon araçları	Tasarım alternatiflerinin test edilmesi	Akademisyen, profesyonel tasarımcı	Mirzaei & Haghighat (2010)

Çizelge 1. Mikroklima Değerlendirme Bileşenleri

Mikroklimanın değerlendirilmesinde ele alınan parametreler, kullanılan yaklaşım ve araçlara bağlı olarak farklı biçimlerde elde edilebilmektedir. Örneğin hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı gibi mikroklimatik parametreler, literatürde çoğunlukla saha temelli ölçümler aracılığıyla doğrudan değerlendirilmektedir. Buna karşılık, kentsel ölçekte farklı mekânsal senaryoların karşılaştırılması ya da henüz uygulanmamış tasarım kararlarının mikroklima üzerindeki olası etkilerinin incelenmesi söz konusu olduğunda, bu parametreler simülasyon ve modelleme tabanlı yaklaşımlar aracılığıyla ele alınmaktadır. Bu kapsamda Çizelge 1, mikroklimatik parametreler ile bu parametrelerin değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm ve simülasyon yaklaşımları arasındaki ilişkiyi özetleyerek, izleyen bölümlerde ele alınacak değerlendirme araçları için kavramsal bir zemin sunmaktadır.

2.2.1. Saha Temelli Mikroklima Ölçümleri

Saha temelli ölçümler, mikroklimanın değerlendirilmesinde yerel atmosferik koşulların gerçek çevresel bağlam içerisinde doğrudan belirlenmesine olanak tanıması nedeniyle literatürde temel yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yönü ile radyasyon bileşenleri gibi mikroklimatik parametreler, saha ölçümleri aracılığıyla yüksek zamansal çözünürlükte elde edilebilmekte ve bu durum özellikle belirli bir alanın mevcut

mikroklimatik karakterinin ayrıntılı biçimde ortaya konulmasını mümkün kılmaktadır (Oke, 1987; Emmanuel, 2005).

Literatürde saha temelli ölçümler, çoğunlukla küçük ve orta ölçekli kentsel alanlarda, mevcut durum analizlerinin gerçekleştirilmesi, açık alan kullanımına ilişkin termal konfor koşullarının değerlendirilmesi ve kullanıcı ölçeğinde mikroklimatik farklılıkların belirlenmesi amacıyla tercih edilmektedir (Johansson & Emmanuel, 2006; Ali-Toudert & Mayer, 2007). Bu tür ölçümler, mikroklimatik süreçlerin yerinde gözlemlenmesine olanak tanıması açısından önemli olmakla birlikte, ölçümlerin belirli noktalara ve sınırlı zaman dilimlerine bağlı olması, kentsel alanların karmaşık mekânsal yapısının bütüncül biçimde temsil edilmesini güçleştirmektedir.

Bu nedenle literatürde saha temelli ölçümler, kentsel ölçekte farklı tasarım senaryolarının karşılaştırılmasından ziyade, mevcut mekânsal koşulların ayrıntılı biçimde analiz edilmesi ve mikroklimatik süreçlerin anlaşılması amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle simülasyon ve modelleme çalışmalarında, saha ölçümleri çoğu zaman model sonuçlarının doğrulanması ve kalibrasyonu için başvurulan temel veri kaynakları arasında yer almaktadır (Mirzaei & Haghighat, 2010; Middel et al., 2014).

Kentsel alanlarda iklimsel koşulların kısa mesafelerde dahi önemli farklılıklar gösterebilmesi, mikroklimanın yalnızca genel meteorolojik verilerle açıklanmasını yetersiz kılmakta; bu nedenle saha ölçümleri yerel iklim koşullarının doğru biçimde anlaşılmasında kritik bir rol üstlenmektedir (Kolokotroni vd., 2006).

Mikroklimatik parametrelerin değerlendirilmesinde elde edilen veriler, yalnızca hangi parametrelerin ölçüldüğü ile değil, bu ölçümlerin hangi yükseklikte gerçekleştirildiği ile de doğrudan ilişkilidir. Hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr gibi mikroklimatik değişkenler, özellikle zemin yüzeyine yakın seviyelerde, yüzey özellikleri, bitki örtüsü ve yapılı çevrenin etkisiyle önemli ölçüde değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle ölçüm yüksekliği, mikroklimatik koşulların insan ölçeğinde doğru biçimde temsil edilebilmesi açısından kritik bir parametre olarak ele alınmaktadır (Oke, 1987). Literatürde kentsel mikroklima çalışmalarında ölçüm yüksekliği, çoğunlukla kullanıcıların maruz kaldığı çevresel koşulları yansıtacak biçimde belirlenmektedir. Özellikle yaya ölçeğinde gerçekleştirilen mikroklima değerlendirmelerinde, ölçümlerin belirli standart yüksekliklerde yapılması, farklı çalışmaların karşılaştırılabilirliğini artırmakta ve mikroklimatik verilerin yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır (Johansson & Emmanuel, 2006; Ali-Toudert & Mayer, 2007).

Literatürde mikroklimanın saha temelli olarak nasıl değerlendirildiğini ortaya koymak amacıyla kullanılan temel mikroklimatik parametreler ve ölçüm araçları özetlenmiştir. Ölçüm yükseklikleri, mikroklima çalışmalarında insan ölçeğini temsil eden uluslararası standartlar ve literatürde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar doğrultusunda belirlenmiştir (ISO 7726, 2001; Mirzaei & Haghighat, 2010).

Parametre	Ölçüm Aracı	Ölçüm Yüksekliği	Amaç
Hava sıcaklığı	Termometre	1,5 m	Termal koşullar
Bağıl nem	Higrometre	1,5 m	Nem konforu
Rüzgâr hızı	Anemometre	1.5–10 m	Havalandırma
Radyasyon	Piranometre	Açık alan	Güneş etkisi

Çizelge 2. Saha Ölçüm Tablosu

2.2.2. Modelleme Yöntemleri

Kentsel mikroklimanın değerlendirilmesinde saha temelli ölçümler, mevcut durumun yerinde ve doğrudan ortaya konulmasını sağlarken; hesaplamalı mikroklima modelleme yöntemleri, bu koşulların farklı mekânsal ve zamansal senaryolar altında nasıl değişebileceğinin öngörülmesine olanak tanımaktadır. Modelleme yaklaşımları, kentsel alanlarda mikroklimatik süreçlerin karmaşık yapısını anlamak ve tasarım ile planlama kararlarının olası iklimsel etkilerini değerlendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Oke, 1987; Arnfield, 2003).

Hesaplamalı mikroklima modelleri, hava sıcaklığı, rüzgâr alanları, bağıl nem ve radyasyon gibi mikroklimatik parametreleri, kentsel morfoloji, yüzey özellikleri ve bitki örtüsü gibi fiziksel girdiler üzerinden simüle etmektedir. Bu modeller, özellikle saha ölçümlerinin sınırlı olduğu durumlarda ya da henüz uygulanmamış tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi gerektiğinde önemli bir analiz aracı sunmaktadır (Mirzaei & Haghighat, 2010). Literatürde, mikroklima modelleme yaklaşımlarının farklı ölçeklerde ve farklı amaçlarla kullanıldığı; bazı modellerin sokak ve mahalle ölçeğinde detaylı analizlere odaklanırken, bazılarının daha geniş kentsel alanlar için genel eğilimleri ortaya koymayı hedeflediği belirtilmektedir (Bherwani vd., 2020).

Bununla birlikte, hesaplamalı modelleme yöntemlerinin kullanımı, doğru girdi verilerinin sağlanmasına ve model sonuçlarının gerçek koşullarla ilişkilendirilmesine bağlıdır. Bu nedenle saha temelli ölçümler, modelleme çalışmalarının doğrulanması açısından önemli bir referans oluşturmaktadır. (Arnfield, 2003; Mirzaei & Haghighat, 2010).

Literatürde kentsel mikroklimanın değerlendirilmesinde kullanılan modelleme araçları, ele aldıkları mikroklimatik parametreler, mekânsal ölçekler ve elde edilen çıktılar açısından önemli farklılıklar göstermektedir. ENVI-met, SOLWEIG ve RayMan gibi araçlar daha çok açık alan ve sokak ölçeğinde termal konfor ve radyasyon odaklı analizlere olanak tanırken; UMEP ve Rhino/Grasshopper (Ladybug Tools) gibi platformlar, kent morfolojisi ile iklim verilerini birlikte ele alarak daha geniş mekânsal bağlamlarda değerlendirmeler sunmaktadır. OpenFOAM ve ANSYS Fluent gibi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) tabanlı araçlar, rüzgâr akışı ve türbülans gibi süreçlerin ayrıntılı biçimde analiz edilmesine imkân sağlamaktadır. Bu çeşitlilik, mikroklima modelleme araçlarının tek bir amaç için geliştirilmediğini; yöntem ve araç seçiminin çalışmanın hedefi, ölçeği ve kullanıcı profiline

bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır (Arnfield, 2003; Mirzaei & Haghighat, 2010; Bherwani vd., 2020).

Modelleme yöntemleri literatürdeki kullanım alanları ve sağladıkları çıktılar doğrultusunda değerlendirilmiştir. Yöntemlerin kentsel planlama ve peyzaj tasarımı süreçlerinde hangi amaçlarla ve hangi koşullarda tercih edildiği ortaya konulmuştur. Böylece, mikroklima değerlendirmesinde yöntem seçimi, çalışmanın hedefi ve ölçeği ile doğrudan ilişkili ve belirleyici olduğunu göstermektedir.

Araç	Kent İçi	Kent Çeperi	Kent Ölçeği	Mikro Ölçek	Mezo Ölçek	Bölgesel Ölçek	Temel Çıktılar
ENVI-met	✓	✓	△	✓	△	✗	Sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr, Tmrt
RayMan	✓	△	✗	✓	✗	✗	PET, UTCI, radyasyon
SOLWEIG	✓	✓	△	✓	✓	✗	Tmrt, termal konfor
SkyHelios	✓	△	✗	✓	✗	✗	SVF, gölgeleme
Rhino/Grasshopper (Ladybug/Honeybee)	✓	✓	△	✓	✓	✗	Güneş, enerji, konfor
Rhino/Grasshopper (Dragonfly)	△	✓	✓	✗	✓	✓	Kentsel iklim göstergeleri
OpenFOAM	△	✓	✓	✗	✓	✓	Rüzgâr, türbülans
UMEP	✓	✓	✓	✓	✓	△	sıcaklık,rüzgâr, termal konfor
UWG	✓	✓	✗	✓	✓	✗	Kentsel ısı adası
ANSYS Fluent	△	✓	✓	✗	✓	✓	CFD akış, ısı

Çizelge 3. Kentsel Mikroklima Modelleme Araçları Karşılaştırma

Çizelge 3'te sunulan karşılaştırma, kentsel mikroklima değerlendirmesinde kullanılan farklı modelleme araçlarının, ele aldıkları mekânsal ölçekler ile sundukları temel çıktılar arasındaki

ilişkiyi ortaya koymaktadır. ENVI-met, RayMan ve SOLWEIG gibi araçlar, ağırlıklı olarak mikro ölçekli analizlerde kullanılmakla birlikte, özellikle ENVI-met'in mahalle ve kampüs ölçeğine kadar uzanan uygulamaları sayesinde sınırlı ölçüde mezo ölçekli değerlendirmelere de olanak tanıdığı görülmektedir. Bu araçlar; hava sıcaklığı, rüzgâr alanları, radyasyon ve termal konfor göstergeleri (Tmrt, PET, UTCI) gibi çıktılar üretmeleri nedeniyle, yaya ölçeğinde ve açık alan kullanımına yönelik mikroklima değerlendirmelerinde öne çıkmaktadır.

Buna karşılık, UMEP, UWG, Dragonfly ve ANSYS Fluent gibi araçlar, daha geniş mekânsal ölçeklerde kentsel iklim süreçlerini ele almakta; kentsel ısı adası etkisi, rüzgâr akışları ve enerji dengesi gibi çıktılar üzerinden kentsel ve mezo ölçekli değerlendirmeler sunmaktadır. Bu araçların farklı ölçeklerde analiz yapabilme kapasitesi, kentsel mikroklima çalışmalarının yalnızca noktasal değil, alan ölçeğinde de ele alınmasına imkân tanımaktadır. Bu bağlamda çizelgede sunulan modelleme araçları, mikroklima değerlendirme sürecinde farklı ölçek ve amaçlara yönelik olarak tamamlayıcı roller üstlenmektedir.

Mekansal Alt Ölçek	Temsilî Alan	Kullanılabilir Modeller	Öne Çıkan Analizler
Bina Çevresi	Cephe önü	ENVI-met, RayMan, SkyHelios	SVF, gölge, PET
Sokak Kanyonu	Dar/geniş sokak	ENVI-met, SOLWEIG, UMEP	Tmrt, rüzgâr
Meydan/Açık Alan	Kentsel boşluk	SOLWEIG, Ladybug	Radyasyon dengesi
Mahalle/Kampüs	Yerleşke ölçeği	Dragonfly, UMEP	Morfoloji–iklim ilişkisi
Kent Çeperi	Geçiş alanları	UMEP, OpenFOAM	Rüzgâr rejimi
Kent Geneli	Şehir bütünü	OpenFOAM, ANSYS Fluent	Akış ve türbülans

Çizelge 4. Ölçeklere Göre Mekânsal Sınıflandırma

Mikroklima değerlendirmesinde kullanılan yöntemler ele alınan mekânsal ölçek ve mekânın türüne göre değişiklik göstermektedir. Bina çevresi, sokak kanyonu, meydan/açık alan ve mahalle gibi farklı mekân türleri farklı mikroklimatik süreçler ortaya çıkarmakta ve bu da farklı analiz yaklaşımlarını ortaya koymaktadır. Buna bağlı olarak farklı mekânsal ölçekler için mikroklima analizleri ve modelleme yaklaşımları çizelge 4'te sunulmuştur.

Tablolar, literatürde yer alan farklı çalışmaların birlikte değerlendirilmesi ve yeniden sınıflandırılmasıyla oluşturulmuştur.

3. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada gerçekleştirilen literatür temelli değerlendirmeler, mikroklimatik parametrelerin analizinde kullanılan uygulamaların, ele alınan mekânsal ölçek ve analiz amacı doğrultusunda farklılaşması gerektiğini ortaya koymaktadır. Kentsel mikroklima değerlendirmesinde mikroklimatik parametrelerin tek bir yöntem veya uygulama üzerinden ele alınmasının sınırlı kaldığını; buna karşılık parametre–ölçek–uygulama ilişkisinin bir bütün olarak değerlendirilmesinin daha tutarlı sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

Hava sıcaklığı ve bağıl nem gibi mikroklimatik parametrelerin, sokak kanyonu, açık alan ve bina çevresi gibi mikro ölçekli mekânsal bağlamlarda ele alındığı çalışmalarda, ENVI-met gibi mikro ölçekli modelleme uygulamalarının literatürde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Bruse & Fleer, 1998; Mirzaei & Haghighat, 2010). Bu tür uygulamalar, söz konusu parametrelerin yerel ölçekte, bitki örtüsü, yüzey özellikleri ve yapılaşma biçimi ile ilişkili olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Ancak daha geniş mekânsal ölçeklerde, örneğin ilçe veya kent genelinde, hava sıcaklığı ve bağıl nemin değerlendirilmesinde genellikle meteorolojik istasyon verileri ve uzaktan algılama temelli yaklaşımların tercih edildiği; mikro ölçekli modelleme uygulamalarının bu ölçekte genelleme amacıyla kullanılmadığı belirtilmektedir (Oke, 1987; Arnfield, 2003).

Termal konforla ilişkili parametrelerin değerlendirilmesinde, RayMan ve SkyHelios gibi uygulamaların, özellikle açık alan ve sokak ölçeğinde radyasyon bileşenleri, gökyüzü görünürlük oranı ve termal konfor indekslerinin analizinde öne çıktığı görülmektedir (Matzarakis vd., 2007; Lindberg vd., 2008). Bu uygulamalar, mikroklimatik koşulların insan ölçeğinde değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda tercih edilmekte; ancak belirli parametreler üzerinden sadeleştirilmiş analizler sunmaktadır.

Radyasyon dağılımı ve gölgeleme koşullarının mekânsal bağlamla ilişkisini ele alan çalışmalarda, SOLWEIG uygulamasının özellikle meydanlar, açık yeşil alanlar ve yaya mekânları gibi alanlarda kullanıldığı görülmektedir (Lindberg vd., 2018). SOLWEIG, kısa ve uzun dalga radyasyon bileşenlerini dikkate alarak, termal konforun mekânsal dağılımına ilişkin değerlendirmeler sunmakta; bu yönüyle açık alan tasarımına yönelik mikroklima analizlerinde tercih edilen araçlar arasında yer almaktadır.

Kentsel ölçekte mekânsal veriler ile iklim verilerinin birlikte ele alındığı çalışmalarda ise UMEP ve Ladybug Tools gibi platformların öne çıktığı görülmektedir. Bu uygulamalar, kent morfolojisi, yüzey özellikleri ve iklim verilerini bir arada değerlendirerek, mahalle veya daha geniş mekânsal bağlamlarda mikroklimatik eğilimlerin ortaya konulmasına olanak tanımaktadır (Lindberg vd., 2015; Roudsari & Pak, 2013). Bu uygulamalar, mikroklimatik süreçlere ilişkin olarak özellikle radyasyon dağılımı, gölgeleme etkisi ve rüzgâr alanlarının mekânsal farklılaşması gibi eğilimlerin karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Rüzgâr hızı ve yönü gibi parametrelerin yapılaşma biçimi ile ilişkili olarak ayrıntılı biçimde ele alındığı çalışmalarda ise OpenFOAM ve ANSYS Fluent gibi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) tabanlı uygulamaların kullanıldığı görülmektedir. Bu tür uygulamalar, özellikle bina çevresi ve sokak kanyonu ölçeğinde rüzgâr davranışının detaylı olarak incelenmesine olanak tanımakta; ancak yüksek veri gereksinimi ve karmaşık modelleme süreçleri nedeniyle daha çok

uzman kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir (Blocken, 2015; Tominaga & Stathopoulos, 2013)

Bu çalışma, kentsel mikroklimanın değerlendirilmesine yönelik olarak literatürde yaygın biçimde kullanılan modelleme araçlarını, ele aldıkları mekânsal ölçekler ve sundukları mikroklimatik çıktılar doğrultusunda karşılaştırmalı bir bakış açısıyla ele almıştır. Derleme niteliğindeki bu çalışma kapsamında sunulan çizelgeler ve açıklamalar, yeni bir bulgu ortaya koymaktan ziyade, farklı araçların kentsel mikroklima çalışmalarında hangi bağlamlarda öne çıktığını görünür kılmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, literatürde sıklıkla vurgulanan "tek bir aracın tüm ölçek ve amaçlar için yeterli olmadığı" görüşüyle örtüşmektedir (Oke, 1987; Mirzaei & Haghighat, 2010).

Bu bağlamda çalışmanın ortaya koyduğu temel tartışma, kentsel mikroklima değerlendirmesinde kullanılacak aracın seçiminde mekânsal ölçek, değerlendirilmek istenen mikroklimatik parametreler ve beklenen çıktı türlerinin belirleyici olduğudur. Mikro ölçekli tasarım kararlarında, kullanıcı ölçeğinde ayrıntılı termal konfor çıktıları sunan araçlar öne çıkarken; kentsel ölçekte iklimsel eğilimlerin ve politika düzeyindeki kararların değerlendirilmesi için daha geniş ölçekli araçların tercih edilmesi daha uygun görünmektedir. Literatürde saha temelli ölçümlerin ise, bu süreçte çoğunlukla mevcut durum analizlerinin yapılması ve simülasyon sonuçlarının doğrulanması amacıyla tamamlayıcı bir rol üstlendiği ifade edilmektedir (Emmanuel, 2005; Mirzaei & Haghighat, 2010). Bu durum, bu iki yaklaşımın birbirinin tamamlayıcısı olarak ele alınması gerektiğini ortaya koyar.

Sonuç olarak bu çalışma, kentsel mikroklima değerlendirmesinde kullanılan farklı uygulamaların, ele aldıkları mikroklimatik parametreler ve mekânsal ölçekler doğrultusunda literatür temelli bir çerçeve içerisinde nasıl konumlandığını ortaya koymaktadır. Yapılan değerlendirmeler, kentsel mikroklima analizlerinde tek bir yöntem ya da uygulama üzerinden genelleme yapılmasının sınırlı kaldığını; buna karşılık parametre, ölçek ve analiz amacının birlikte ele alındığı yaklaşımların daha tutarlı ve anlamlı değerlendirmelere olanak tanıdığını göstermektedir.

Bu bağlamda çalışma, kentsel mikroklima çalışmalarında kullanılacak araçların seçimine yönelik kesin bir seçim şeması sunmamakla birlikte, farklı uygulamaların hangi mekânsal bağlamlarda ve hangi analiz amaçları doğrultusunda öne çıktığını görünür kılan karşılaştırmalı bir değerlendirme zemini oluşturmaktadır. Sunulan bu çerçeve, kentsel mikroklima değerlendirmelerinde araç seçimine ilişkin karar süreçlerinin daha bilinçli ve bağlama duyarlı biçimde ele alınmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu çerçevenin, ilerleyen çalışmalarda saha temelli ölçümlerle desteklenen uygulamalı araştırmalar ve farklı kentsel bağlamlarda gerçekleştirilecek mikroklima analizleri için tartışma ve değerlendirme açısından referans niteliğinde bir zemin sunması beklenmektedir.

4. REFERANS

Adıgüzel, G., Küçükerbaş, E. V. (2018). Kentsel Yeşil Alanların Mikro-İklimsel Etkilerinin İzmir-Bornova Örneğinde Araştırılması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55(3), 255-263.

Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2007). Effects of asymmetrical street canyons on air temperature and thermal comfort. *Meteorologische Zeitschrift, 16*(4), 373–383.

Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26.

Bherwani, H., Singh, A., Kumar, R., & Kumar, R. (2020). *Assessment methods of urban microclimate and its parameters: A critical review to take the research from lab to land*. Urban Climate, 34, 100690.

Blocken, B. (2015). Computational fluid dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. *Building and Environment, 91*, 219–245.

Boucher, O., Randall, D., Artaxo,p., Bretherton, C., Feingold, G. (2013). The Physical Science Basis, in: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press, Clouds and Aerosols*, 571-657.

Bruse, M., & Fleer, H (1998). Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software, 13*(3–4), 373–384.

Elma, S. (2023). Parkların Mikroiklimsel Etkilerinin Aydın Kanza Parkı (Antalya) Örneğinde İncelenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 29 (5),690-693.

Emmanuel, R. (2005). *An urban approach to climate-sensitive design: Strategies for the tropics*. Routledge.

Hamada, S., & Ohta, T. (2010). Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening, 9*(1), 15–24.

Johansson, E., Thorsson, S., Emmanuel, R., & Krüger, E. (2014). Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies. *Urban Climate*, 10, 224–247.

Johansson, E., & Emmanuel, R. (2006). The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology, 51*(2), 119–133.

International Organization for Standardization. (1998). *ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*. ISO.

Kantzioura, A., Kosmopoulos, P., & Zoras, S. (2012). Urban surface temperature. *Sustainable Cities and Society*, 3, 39–47.

Kolokotroni, M., Giannitsaris, I., & Watkins, R. (2006). *The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies*. Solar Energy, 80(4), 383–392.

Lindberg, F., Grimmond, C. S. B., Gabey, A., Huang, B., Kent, C. W., Sun, T., … Krave, N. (2018). Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling & Software, 99*, 70–87.

Lindberg, F., Holmer, B., & Thorsson, S. (2008). SOLWEIG 1.0 – Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International Journal of Biometeorology, 52*(7), 697–713.

Lindberg, F., Onomura, S., & Grimmond, C. S. B. (2015). Influence of ground surface characteristics on the mean radiant temperature in urban areas. *International Journal of Biometeorology, 60*(9), 1439–1452.

Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology, 51*(4), 323–334.

Middel, A., Häb, K., Brazel, A. J., Mart'in, C. A., & Guhathakurta, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning, 122*, 16–28.

Mirzaei, P. A., & Haghighat, F. (2010). Approaches to study urban heat island—Abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10), 2192–2201.

Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates Routledge* (2nd ed.).

Radhi, H., & Sharples, S. (2013). Quantifying the domestic electricity consumption for air-conditioning due to urban heat island in hot arid regions. Applied Energy, 112, 371–380. Roudsari, M. S., & Pak, M. (2013). Ladybug: A parametric environmental plugin for Grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. *Proceedings of the 13th International IBPSA Conference (Building Simulation 2013)*, 3128–3135.

Salata, F., Golasi, I., de Lieto Vollaro, E., & Vollaro, A. (2015). Outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 114, 154–164.

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.

Tominaga, Y., & Stathopoulos, T. (2013). CFD simulation of near-field pollutant dispersion in the urban environment: A review of current modeling techniques. *Atmospheric Environment, 79*, 716–730.

Yüksel, Ü., *Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi Üzerinde Bir Araştırma*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.

Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344.

KIYI ALANLARINDA YER ALAN MİLLET BAHÇELERİNİN KULLANIM VE MEMNUNİYET DÜZEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÜNYE BATIPARK MİLLET BAHÇESİ ÖRNEĞİ

Doç.Dr., SERİR UZUN

Düzce Üniversitesi,

seriruzun@duzce.edu.tr - 0000-0003-3854-6108

ÖZET

Hızlı kentleşme süreci, bireylerin rekreasyonel ve sosyal gereksinimlerini karşılayabilecek nitelikli açık ve yeşil alanlara olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu doğrultuda son yıllarda yaygınlaşan millet bahçeleri, kentlerde kamusal açık alan kullanımını destekleyen önemli mekânlar olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, Ordu ili Ünye ilçesinde kıyı alanında yer alan ve 2025 yılında hizmete açılan Ünye Batıpark Millet Bahçesinin kullanım özellikleri ile kullanıcı memnuniyet düzeylerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Araştırmada yüz yüze anket yöntemi uygulanmış; %95 güven düzeyi ve %5 hata payı esas alınarak belirlenen örneklem kapsamında 398 katılımcıya ulaşılmıştır. Anket formu demografik özellikler, kullanım biçimleri ve genel memnuniyet düzeylerini kapsamakta; elde edilen veriler SPSS 22.0 programında tanımlayıcı istatistikler kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda alanın deniz ve plaj olanaklarına sahip olması ve sunduğu rekreasyonel aktiviteler katılımcıların tercihinde etkili olduğu belirlenirken; katılımcıların alanın konfor, ulaşılabilirlik, güvenlik ve sosyalleşme olanaklarından memnun oldukları belirlenmiştir. Katılımcıların millet bahçesini genel olarak çok beğenmelerine rağmen alandaki insan davranışlarını, alanın çok kalabalık ve gürültülü oluşunu beğenmedikleri ve alanda bitkisel elemanları, restoran/kafe/çay bahçesini, satış birimlerini ve çocuk oyun alanlarını yetersiz buldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kıyı alanları, memnuniyet, millet bahçesi, Ünye.

EVALUATION OF THE USE AND SATISFACTION LEVELS OF PUBLIC PARKS LOCATED IN COASTAL AREAS: THE CASE OF ÜNYE BATIPARK PUBLIC PARK

ABSTRACT

The rapid urbanisation process has increased the need for high-quality open and green spaces that can meet individuals' recreational and social needs. In this context, public gardens, which have become widespread in recent years, have emerged as important spaces that support the use of public open spaces in cities. This study aims to determine the usage characteristics and user satisfaction levels of Ünye Batıpark Public Garden, located in the coastal area of Ünye district in Ordu province, which opened in 2025. A face-to-face survey method was applied in the research; 398 participants were reached within the sample determined based on a 95% confidence level and a 5% margin of error. The questionnaire covered demographic characteristics, usage patterns, and overall satisfaction levels; the data obtained were analysed using descriptive statistics in the SPSS 22.0 programme. The results of the study revealed that the area's proximity to the sea and beach facilities, along with the recreational activities it offers, influenced participants' preferences. Participants were found to be satisfied with the area's comfort, accessibility, safety, and socialising opportunities. Although participants generally liked the public garden very much, they disliked the behaviour of people in the area, its crowdedness and noise, and found the plant elements, restaurant/café/tea garden, sales units and children's play areas inadequate.

Keywords: Coastal areas, satisfaction, public garden, Ünye.

1. GİRİŞ

Kentsel alanlarda hızlı nüfus artışı ve yoğun yapılaşma, kamusal açık ve yeşil alanların kent yaşamındaki rolünü daha da önemli hâle getirmiştir. Açık ve yeşil alanlar yalnızca rekreasyonel ihtiyaçlara yanıt veren mekânlar değil; aynı zamanda sosyal etkileşimi destekleyen, kent ekolojisinin sürekliliğini sağlayan ve bireylerin fiziksel ve psikolojik iyilik hâline katkıda bulunan temel kentsel bileşenlerdir. Bu bağlamda, nitelikli kamusal açık alanların planlanması ve etkin biçimde kullanılabilirliğinin sağlanması, günümüz kentlerinin karşı karşıya olduğu önemli planlama sorunlarından biri olarak öne çıkmaktadır (Akyıldız, 2020; Olgun, Kahraman ve Karakuş, 2022; Zulkadiroğlu; 2022).

Türkiye'de kamusal yeşil alan üretimi içerisinde son yıllarda öne çıkan millet bahçeleri, bu ihtiyaca yanıt vermeyi amaçlayan önemli bir planlama yaklaşımıdır. Ancak millet bahçesi kavramı, yalnızca güncel bir uygulama alanı olarak değil, tarihsel bir arka plana sahip kamusal mekân türü olarak ele alınmalıdır. Osmanlı döneminde ortaya çıkan ilk millet bahçeleri, gezinti ve dinlenme işlevlerinin ötesinde; toplumun sosyalleşmesini, kültürel etkileşimini ve modernleşme sürecini destekleyen çok işlevli kamusal alanlar olarak kurgulanmıştır. Bu alanlar, kent yaşamında kamusal mekân kültürünün gelişimine önemli katkılar sağlamış ve dönemin sosyal yapısını yansıtan mekânsal göstergeler hâline gelmiştir (Kaştaş Uzun ve Şenol,2020; Kuşkonmaz, 2020).

Günümüzde millet bahçeleri, bu tarihsel mirasın çağdaş bir yorumu olarak yeniden gündeme gelmiş; Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği ve ilgili rehberlerde rekreasyon, doğa ile etkileşim, afet toplanma alanı ve sosyokültürel etkinlikler gibi çok yönlü işlevleri bir arada barındıran büyük ölçekli kamusal yeşil alanlar olarak tanımlanmıştır. Bu tanım, millet bahçelerinin yalnızca fiziksel tasarım ürünleri değil, aynı zamanda kentsel yaşam kalitesini doğrudan etkileyen mekânsal sistemler olduğunu ortaya koymaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Millet Bahçeleri Rehberi, 2020).

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, millet bahçelerinin çoğunlukla tarihsel gelişimi, planlama ve tasarım kriterleri vb. konular üzerinden değerlendirildiği; buna karşın kıyı alanlarında konumlanan millet bahçelerinin kullanım tercihleri ve mekânsal işlevselliklerini bütüncül biçimde ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Oysa kıyı alanları, sahip oldukları doğal, görsel ve rekreasyonel potansiyel nedeniyle farklı kullanıcı beklentileri üretmekte; bu durum millet bahçelerinin kullanım biçimlerini ve memnuniyet düzeylerini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, kıyı millet bahçelerinin kullanıcı deneyimleri üzerinden değerlendirilmesi, mevcut literatürde önemli bir boşluğa işaret etmektedir.

Bu çalışma, Ordu ili Ünye ilçesinde kıyı alanında yer alan Ünye Batıpark Millet Bahçesinin kullanım özelliklerini ve kullanıcı memnuniyet düzeylerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, kullanıcıların alana geliş amaçları, memnuniyet düzeyleri ve mekânsal yeterlilikleri incelenmiştir. Bu yönüyle araştırma, yalnızca mevcut alanın değerlendirilmesine değil, aynı zamanda gelecekte planlanacak kıyı millet bahçeleri için planlama ve tasarım süreçlerine yönelik çıkarımlar sunmayı amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın ana materyali olan Ünye Batıpark Millet Bahçesi, Ordu ili Ünye ilçesi Gölevi mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Kuzeyinde Karadeniz bulunan millet bahçesi

ağırlıklı olarak yerleşim alanlarının olduğu bölgede bulunmaktadır (Görsel 1). Deniz kıyısında yer alan millet bahçesi Mayıs 2025 yılında hizmete açılmıştır. 95 bin m2'lik alana sahip olan millet bahçesi içerisinde aktivite alanları, yürüyüş yolu, tuvalet ve duşlar, bisiklet parkı, süs havuzu, büfe, kafeterya, restoran, seyir terasları, çocuk oyun alanı, engelli çocuk oyun alanı, engelli iskelesi, otopark, basketbol sahası, manyetik kumlu voleybol sahası, manyetik kumlu havuzlar, karavan park, fitness alanı, güneşlenme bankları ve mescit bulunmaktadır. Millet bahçesi sahip olduğu bu özelliklerinden dolayı kent halkı tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Görsel 2).



Görsel 1. Çalışma alanının konumu (Anonim, 2025a,b)



Görsel 2. Çalışma alanından genel görünüm

Çalışmada kullanılan diğer materyaller ise alanda uygulanan anket, alana ait fotoğraflar, proje verileri ve konu ile ilgili literatürden oluşturmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2024 yılı verilerine göre Ünye ilçesinin nüfusu 134.771 kişi olarak belirlenmiştir (Anonim, 2025c). Bu sayı, çalışmanın evrenini oluşturmaktadır. Evreni temsil edecek örneklem büyüklüğü %95 güven düzeyi ve %5 hata payı esas alınarak 384 kişi olarak belirlenmiştir (Yamane, 2001). Bu bağlamda Temmuz-Eylül 2025 tarihleri arasında alanda 398 kişiyle yüz yüze anket yöntemi ile veri toplanmıştır.

Çalışma kapsamında uygulanan anket formu Önal ve Sağır (2018); Altıntaş, Serdaroğlu Sağ (2022); Uzun ve Müderrisoğlu (2007) ve Uzun (2025) çalışmalarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada yararlanılan anket formu 3 bölümden oluşmaktadır. Anketin birinci bölümünde katılımcıların bazı demografik özellikleri 9 farklı soru ile sorgulanmıştır. Anketin

ikinci bölümünde 9 soru ve 28 yargı ile millet bahçesine ait kullanım bilgilerine ulaşılmıştır. Anketin üçüncü bölümünde 12 soru ve 26 yargı ile millet bahçesinden genel memnuniyetleri değerlendirilmiştir. Elde edilen anketler SPSS 22.0 programında kodlanarak veri seti oluşturulmuş ve oluşturulan veri seti üzerinden tanımlayıcı istatistikler yapılarak ortalamalar ve frekans dağılımları hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çizelge 1'e göre araştırmaya katılan bireylerin %49,7'si kadın, %50,3'ü erkektir. Katılımcıların yaş dağılımında %37,7 ile 16–25 yaş grubu ilk sırada yer alırken, bunu %24,9 ile 26–35 yaş grubu izlemektedir. Medeni durum açısından katılımcıların %63,1'i bekar, %39,3'ü evlidir. Öğrenim durumunda lise mezunları %43 ile çoğunluğu oluştururken, meslek grupları arasında öğrenciler %31,4 ile öne çıkmaktadır. Katılımcıların %29,6'sı 22.104 TL altı gelire sahipken, %42 gibi çoğunluğu çocuk sahibi değildir. Katılımcıların %73,1'i Ünye ilçesinde ikamet etmekte olup, %30,9'unun ilçede bulunma süresi 16 yıl ve üzeridir.

Çizelge 1. Katılımcıların bazı demografik özellikleri

Katılımcıların demografik özellikleri		**Sayı (N)**	**Oran (%)**
Cinsiyet	Kadın	198	49,7
	Erkek	**200**	**50,3**
Yaş	**16-25**	**150**	**37,7**
	26-35	99	24,9
	36-45	62	15,6
	46-55	52	13,1
	55-65	35	8,8
Medeni durumu	Evli	147	39,3
	Bekar	**251**	**63,1**
Öğrenim durumu	İlkokul	44	11,1
	Ortaokul	49	12,3
	Lise	**171**	**43,0**
	Lisans	102	25,6
	Lisansüstü	32	8,0
Meslek	Kamu	75	18,8
	Özel sektör	60	15,1
	Serbest meslek	39	9,8
	Emekli	41	10,3
	Ev hanımı	58	14,6
	Öğrenci	**125**	**31,4**
Aylık gelir	**22.104 TL altı**	**118**	**29,6**
	22.105-50.000 TL	83	20,9
	50.001-80.000 TL	90	22,6
	80.001-100.000 TL	80	20,1
	100.001 TL üstü	27	6,8
Çocuk sayısı	**Yok**	**167**	**42,0**
	1	88	22,1
	2	91	22,9
	3 ve üzeri	52	13,1
İkamet yeri	**Ünye ilçesi**	**291**	**73,1**
	Ünye dışı	107	26,9
Ünye'de bulunma süresi	0-5 yıl	123	30,9
	6-10 yıl	82	20,6
	11-15 yıl	64	16,1
	16 yıldan fazla	**129**	**32,4**
Toplam		**398**	**100**

Millet bahçesine ulaşımda katılımcıların %35,2'sinin yürüyerek, %32,1'nin özel araç ile geldikleri görülmektedir (Çizelge 2). Millet bahçesine ulaşım süresine bakıldığında katılımcıların %34,2'sinin 0–5 dakika ve %29,9'unun 6–15 dakika aralığında ulaştığı görülmektedir. Alanın kullanım zamanı incelendiğinde hafta sonu kullanımı %51,8 ile öne çıkmaktadır. Katılımcıların %35,2'si alanı haftada bir veya birkaç kez ziyaret etmektedir. Alanın kullanım mevsimine bakıldığında katılımcıların %43,2'si ile yaz mevsimi ilk sırada yer alırken, %25,9'u ile ilkbahar mevsimi gelmektedir. Katılımcıların %27,6'sının millet bahçesinde 1-3 saat arası kaldıkları görülürken, %32'sinin alana genellikle aileleri ile %25,4'ünün arkadaşları ile geldikleri belirlenmiştir.

Çizelge 2. Millet bahçesini kullanım bilgileri

Millet bahçesini kullanım bilgileri		**Sayı (N)**	**Oran (%)**
Millet bahçesine gelme şekli	**Yürüyerek**	**140**	**35,2**
	Bisiklet/Motosiklet	29	7,3
	Özel araba	**124**	**32,1**
	Toplu taşıma araçları	105	26,4
Millet bahçesine ulaşma süresi	**0-5 dak.**	**136**	**34,2**
	6-15 dak.	119	29,9
	16-30 dak.	97	24,4
	31 dakikadan fazla	46	11,6
Millet bahçesini kullanma zamanı	Hafta içi	74	18,6
	Hafta sonu	**206**	**51,8**
	Her zaman	118	29,6
Millet bahçesini gelme sıklığı	İlk defa	112	28,2
	Hemen her gün	65	16,3
	Haftada bir veya birkaç kez	**140**	**35,2**
	Ayda bir veya birkaç kez	81	20,4
Millet bahçesine gidilen mevsim	İlkbahar	103	25,9
	Yaz	**172**	**43,2**
	Sonbahar	82	20,6
	Kış	41	10,3
Millet bahçesinde geçirilen zaman	1 saatten az	40	10,1
	1-3 sat arası	**109**	**27,6**
	3-5 saat arası	110	27,4
	5-7 saat arası	94	23,6
	Gece konaklama	45	11,3
Millet bahçesine kiminle geldiği	Yalnız	40	10,1
	Aile	**134**	**33,7**
	Akraba	94	23,6
	Arkadaş	**101**	**25,4**
	Komşu	29	7,3
Toplam		**398**	**100**

Katılımcıların millet bahçesine geliş amaçlarının başında; yüzmek (1,34±0,476), plajdan yararlanmak (1,35±0,479), dinlenmek (1,36±0,482), yürümek (1,45±0,498) ve sosyalleşmek (1,45±0,499) gelmektedir (Çizelge 3). Karavan kampı yapmak (1,91±0,287) ve seyir teraslarından yararlanmak (1,90±0,283) ise en düşük geliş amaçları arasındadır. Wong ve Domroes, (2004); Ahmad, Maulan, Mariapan ve Habib (2011); Liu, Li, Xu ve Han (2015) yaptıkları çalışmalarda kullanıcıların parklara fiziksel aktivite yapmak, doğada vakit geçirmek, dinlenmek, rahatlamak ve arkadaşlarla buluşmak için gittiklerini belirtmişlerdir. Ferah ve

Poyraz (2025) yaptıkları çalışmada, katılımcıların büyük çoğunluğunun Ümraniye Millet Bahçesi'ne en çok eğlence amaçlı gittiklerini belirlemiştir.

Çizelge 3. Millet bahçesine geliş amaçları

Seçenekler	Arit. Ort*.	St. Sapma
Yüzmek	**1,34**	**0,476**
Plajdan faydalanmak	**1,35**	**0,479**
Dinlenmek	**1,36**	**0,482**
Yürümek	**1,45**	**0,498**
Sosyalleşmek (arkadaşlarla buluşmak)	1,45	0,499
Restorant-kafesinden yararlanmak	1,47	0,499
Piknik yapmak	1,48	0,500
Spor yapmak	1,59	0,490
Çocuk oyun alanını kullanmak	1,66	0,471
Fitness alanından yararlanmak	1,71	0,453
Balık tutmak	1,71	0,451
Bisiklete binmek	1,74	0,435
Voleybol/basketbol oynamak	1,74	0,434
Yöresel ürün satın almak	1,79	0404
Manyetik kum havuzlarından yararlanmak	1,79	0,403
Engelli çocuk oyun alanını kullanmak	1,82	0,383
Engelli plajından yararlanmak	1,85	0,353
Seyir terasından yararlanmak	1,90	0,287
Karavan kampı yapmak	1,91	0,283

1: Evet, 2: Hayır

Katılımcıların millet bahçesini tercih etme nedenleri arasında deniz ve plaj olanaklarına sahip olması (1,29±0,455) ilk sırada yer almaktadır. Evine yakın olması (1,35±0,478), beğenilmesi (1,43±0,496) ve ulaşımın kolay olması (1,43±0,496) diğer önemli tercih nedenleridir (Çizelge 4). Uzun (2025) Düzce Millet Bahçesi'nde yaptığı çalışmasında katılımcıların millet bahçesini tercih etme sebeplerinin başında; diğer mekanlara yakın olduğu, beğendiğim, ulaşımı kolay olduğu ve evime yakın olduğu için yargıları ilk sıralarda gelmektedir.

Çizelge 4. Millet bahçesini tercih etme sebepleri

Seçenekler	Arit. Ort*.	St. Sapma
Deniz/Plajı olduğu için	**1,29**	**0,455**
Evime yakın olduğu için	**1,35**	**0,478**
Beğendiğim için	**1,43**	**0,496**
Ulaşımı kolay olduğu için	1,43	0,496
Yeni yapıldığı için	1,49	0,500
Güvenli olduğu için	1,56	0,494
Bakımlı olduğu için	1,59	0,490
Konforlu olduğu için	1,62	0,485
Engelli kullanımına uygun olduğu için	1,71	0,450

1: Evet, 2: Hayır

Katılımcıların %46,5'i millet bahçesini gerçekleştirmek istedikleri kullanımlar için yeterli bulurken, %29,9'u kısmen yeterli olduğunu belirtmiştir (Çizelge 5). Katılımcıların %48'i millet bahçesini toplama ve buluşmalar için yeterli bulurken, %33,4'ü kısmen yeterli bulmaktadır. Alanın konfor olanaklarından memnun olanların oranı %60,8, ulaşılabilirlik olanaklarından memnun olanların oranı %62,6'dır. Katılımcıların %54'ü aktivite olanaklarından memnunken, %51,3'ü sosyalleşme olanaklarından memnundur. Katılımcıların %79,4 gibi büyük bir çoğunluğu alanı güvenli bulduğunu belirtmiştir. Katılımcıların %65,8'i millet bahçesine

geldiklerinde kendilerini daha iyi ve rahatlamış hissettiklerini ifade etmiştir. Yılmaz (2023) yaptığı çalışmada kullanıcıların Trabzon Avni Aker Millet Bahçesi'nin sunduğu aktivite çeşitliliği, sosyalleşme, ulaşılabilirlik ve konfor olanaklarından memnun olduklarını ortaya koymuştur. Önal ve Sağır (2018) Ankara'daki kent parklarında yaptıkları çalışmada kullanıcıların parkları ziyaret ettiklerinde kendilerini mutlu, huzurlu ve özgür hissettiklerini belirtmişlerdir. Wang, Brown ve Liu (2015) ise yaptıkları çalışmada parklarda yapılan etkinliklerin insanları birleştirici ve sosyalleştirici yanına dikkat çekmişlerdir.

Çizelge 5. Millet bahçesinden genel memnuniyet durumları

		Sayı (N)	**Oran (%)**
Millet bahçesini gerçekleştirmek istediğiniz kullanımlar için yeterli buluyor musunuz?	**Evet**	**185**	**46,5**
	Kısmen	119	29,9
	Hayır	94	23,6
Millet bahçesini toplanma ve buluşmalar için iyi ve yeterli buluyor musunuz?	**Evet**	**191**	**48,0**
	Kısmen	133	33,4
	Hayır	74	18,6
Millet bahçesinin sunduğu konfor olanaklarından memnun musunuz?	**Evet**	**242**	**60,8**
	Hayır	156	39,2
Millet bahçesinin sunduğu ulaşılabilirlik olanaklarından memnun musunuz?	**Evet**	**249**	**62,6**
	Hayır	149	37,4
Millet bahçesinin sunduğu aktivite olanaklarından memnun musunuz?	**Evet**	**215**	**54,0**
	Kısmen	117	29,4
	Hayır	66	16,6
Millet bahçesinin sunduğu sosyalleşme olanaklarından memnun musunuz?	**Evet**	**204**	**51,3**
	Kısmen	106	26,6
	Hayır	88	22,1
Millet bahçesini güvenli buluyor musunuz?	**Evet**	**316**	**79,4**
	Kısmen	49	12,3
	Hayır	33	8,3
Millet bahçesine geldiğiniz için kendinizi daha iyi/rahatlamış/dinlenmiş hissediyor musunuz?	**Evet**	**262**	**65,8**
	Hayır	136	34,2
Toplam		**398**	**100**

Çizelge 6'ya göre katılımcılar tarafından millet bahçesinde en yetersiz bulunan faaliyet ve olanaklar; bitkisel elemanlar (3,77±1,605), restoran/kafe/çay bahçesi alanları (3,72±1,460) ve satış birimleri (3,50±1,578) olmuştur. Çocuk oyun alanları (3,40±1,576) ve çim alanlar (3,31±1,640) da yetersiz olarak değerlendirilen diğer unsurlardır. Mescit sayısı (2,18±1,440) ve su elemanları (2,27±1,344) ise en düşük yetersizlik algısına sahip alanlar arasında yer almaktadır. Küçükyazıcı, Oksay, Töre, Gökşin, Erkan Yazıcı, Iavarone ve Şen (2022) Bahçelievler Millet Bahçesi'nde yaptıkları çalışmada katılımcıların en çok sosyal tesislerin kapalı olmasını, otopark ve tuvaletlerin yetersiz olmasını millet bahçesinin olumsuz özellikleri olarak gördüklerini belirlemişlerdir. Uzun (2025) yaptığı çalışmasında Düzce Millet Bahçesi'nde katılımcıların yetersiz buldukları faaliyet ve olanakların başında; çim alanların, bitkisel elemanların, su elemanlarının ve yeme-içme alanlarının geldiğini saptamıştır.

Çizelge 6. Millet bahçesinde yetersiz bulunan faaliyetler ve olanaklar

Seçenekler	**Arit. Ort*.**	**St. Sapma**
Bitkisel elemanlar	**3,77**	**1,605**
Restoran/kafe/çay bahçesi	**3,72**	**1,460**
Satış birimleri	**3,50**	**1,578**
Çocuk oyun alanı	3,40	1,576
Çim alanlar	3,31	1,640
Donatı elemanları (aydınlatma, çöp kutuları, oturma birimleri vb.)	3,22	1,489
Görevli sayısı (temizlik, cankurtaran vs.)	3,23	1,659
Otopark	3,20	1,565
Piknik alanları	3,12	1,529
Spor alanı	3,10	1,555
Karavan kamp alanı	2,99	1,585
Yürüyüş alanı	2,69	1,595
Tuvalet-duş sayısı	2,62	1,397
Engelliler için ekipmanlar	2,56	1,392
Uyarı ve bilgilendirme levhaları	2,33	1,338
Su elemanları	2,27	1,344
Mescit sayısı	2,18	1,440

1: Kesinlikle katılmıyorum, 2: Katılmıyorum, 3: Fikrim yok, 4: Katılıyorum, 5: Kesinlikle katılıyorum

Millet bahçesinin beğenilme durumuna bakıldığında katılımcıların %47,2'si çok beğendiğini ve %26,6'sı beğendiğini belirtmiştir (Çizelge 7). Katılımcıların %39,7'si millet bahçesinin imajını çok iyi ve %34,4'ü iyi olarak değerlendirilmiştir. Olumsuz değerlendirmelerin oranı oldukça düşük düzeyde kalmıştır. Karlıer (2017) Bursa ilinde bulunan dört adet kent parkında yaptığı çalışmada kullanıcıların kent parklarından memnuniyetlerinin yüksek olduğunu belirlemiştir. Ferah ve Poyraz (2025) yaptıkları çalışmada, katılımcıların büyük çoğunluğunun Ümraniye Millet Bahçesi'ni imaj ve çekicilik anlamında yeterli bulduklarını belirlemişlerdir.

Çizelge 7. Millet bahçesini beğenme durumu

		Sayı (N)	**Oran (%)**
Millet bahçesini nasıl değerlendirirsiniz?	Hiç beğenmiyorum	26	6,5
	Beğenmiyorum	28	7,0
	Orta	50	12,6
	Beğeniyorum	**106**	**26,6**
	Çok beğeniyorum	**188**	**47,2**
Millet bahçesinin imajı hakkında nasıl bir değerlendirme yaparsınız?	Çok Kötü	21	5,3
	Kötü	35	8,8
	Orta	47	11,8
	İyi	**137**	**34,4**
	Çok iyi	**158**	**39,7**
Toplam		**398**	**100**

Millet bahçesinde beğenilmeyen unsurlar arasında insan davranışları (3,70±1,392), alanın çok kalabalık olması (3,51±1,478), alanın gürültülü olması (3,49±1,511) ve yeşil alanların az olması (3,27±1,410) yargıları ilk sırada yer almaktadır. Alanın bakımsızlık olması (2,4±1,481) yargısı ise en düşük düzeyde ifade edilmiştir (Çizelge 8). Güreşçioğlu ve Demir (209) yaptıkları çalışmada Düzce Melensu Park'ta kullanıcılar gürültüden, alandaki çöplerden ve gençlerin uygunsuz davranışlarından rahatsız olduklarını belirtmişlerdir.

Çizelge 8. Millet bahçesi ile ilgili beğenilmeyen unsurlar

Seçenekler	Arit. Ort*.	St. Sapma
İnsan davranışları	**3,70**	**1,392**
Çok kalabalık olması	**3,51**	**1,478**
Gürültülü olması	**3,49**	**1,511**
Yeşil alanlarının az olması	3,27	1,410
Aktivite çeşitliliğinin az olması	2,81	1,386
Kent mobilyalarının kullanışsız olması	2,67	1,299
Temizliğin yetersiz olması	2,63	1,279
Bakımsız olması	2,49	1,481

1: Kesinlikle katılmıyorum, 2: Katılmıyorum, 3: Fikrim yok, 4: Katılıyorum, 5: Kesinlikle katılıyorum

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Millet bahçelerinin başarısı, planlanan işlevlerin kullanıcı beklentileriyle ne ölçüde örtüştüğüne ve alanın gündelik yaşam pratikleri içerisinde nasıl deneyimlendiğine bağlıdır. Kullanıcı memnuniyetine dayalı değerlendirmeler, bu alanların güçlü ve zayıf yönlerinin ortaya konulmasına olanak sağlamakta; aynı zamanda gelecekte tasarlanacak benzer kamusal açık alanlar için önemli bir geri besleme mekanizması sunmaktadır.

Bu çalışmada, kıyı alanında konumlanan Ünye Batıpark Millet Bahçesinin kullanım özellikleri ve kullanıcı memnuniyet düzeyleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, millet bahçesinin kent ölçeğinde önemli bir rekreasyonel çekim merkezi haline geldiğini, kent halkı tarafından yoğun biçimde kullanıldığını ve önemli ölçüde kullanıcı memnuniyeti sağladığını ortaya koymaktadır.

Çalışma sonuçları, katılımcıların millet bahçesini tercih etme nedenleri arasında evlerine yakın olmasının ve ulaşımının kolay olmasının ön plana çıktığını ortaya koymaktadır. Bu durum, alanın çevresinde yer alan TOKİ konutları ve diğer toplu konut yerleşimleri ile birlikte değerlendirildiğinde daha anlamlı hale gelmektedir. Söz konusu konut alanlarının doğrudan millet bahçesi ile yaya erişimine imkân veren bir konumda bulunması, kullanıcıların önemli bir bölümünün alana yürüyerek ulaşmasını açıklamaktadır. Ayrıca alanın haftada bir veya birkaç kez ziyaret edilme oranının yüksek olması da bu erişilebilirlik avantajının kullanım sıklığına doğrudan yansıdığını göstermektedir. Bu durum, Ünye Batıpark Millet Bahçesinin yalnızca destinasyon odaklı bir kıyı alanı olmadığını aynı zamanda çevresindeki yüksek nüfus yoğunluğuna sahip konut alanları için birincil açık ve yeşil alan işlevi üstlendiğini göstermektedir.

Millet bahçesinin kullanım amaçları incelendiğinde; yüzme, plajdan yararlanma, dinlenme, yürüyüş ve sosyalleşme gibi temel rekreasyonel etkinliklerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu bulgu, alanın kıyı kimliği ile uyumlu bir kullanım profiline sahip olduğunu ve kullanıcı beklentilerinin büyük ölçüde deniz–kıyı odaklı rekreasyon etkinlikleri etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca millet bahçesinin özellikle yaz mevsiminde ve hafta sonlarında daha yoğun bir biçimde kullanılmasını açıklamaktadır. Bu durum, kıyı millet bahçelerinin kullanım dinamiklerinin, iç kesimlerde yer alan millet bahçelerine kıyasla daha belirgin zamansal yoğunlaşmalar gösterdiğini düşündürmektedir. Ancak kullanım yoğunluğunun belirli zaman dilimlerinde aşırı artması, katılımcılar tarafından kalabalık, gürültü ve davranış sorunları gibi alanla ilgili olumsuz düşüncelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu bulgu, alanın taşıma kapasitesinin planlama sürecinde yeterince dikkate alınmadığını ve kullanım–mekân dengesi açısından yeniden değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Genel memnuniyet düzeyleri değerlendirildiğinde, katılımcıların alanı güvenli, ulaşılabilir, konforlu ve psikolojik açıdan rahatlatıcı buldukları belirlenmiştir. Özellikle güvenlik algısının yüksek olması, alanın kamusal kullanım açısından olumlu bir niteliğe sahip olduğunu göstermektedir. Ancak memnuniyet düzeylerinin yüksek olmasına karşın, bitkisel elemanlar, yeşil alanlar, çocuk oyun alanları ve yeme–içme birimleri gibi bazı mekânsal bileşenlerin yetersiz bulunması, alanın fiziksel kapasitesi ile kullanım yoğunluğu arasında bir uyumsuzluk olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bitkisel elemanların kullanıcılar tarafından yetersiz bulunmasında; alanın yeni kullanıma açılmış olması ve bitkisel dokunun henüz olgunluk aşamasına ulaşmamış olması, bu algıyı kısmen açıklayabilmektedir. Alanın ilerleyen yıllarda bitkisel olgunlaşmayla birlikte daha yüksek mekânsal kalite sunması beklenmekle birlikte, bu sürecin planlı bakım, ek bitkilendirme ve kullanıcı yoğunluğunu dikkate alan yönetim stratejileriyle desteklenmesi önem taşımaktadır.

Bu bağlamda çalışma sonuçlarına dayalı olarak aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- Kıyı alanlarında yer alan millet bahçelerinde taşıma kapasitesi analizlerinin planlama ve tasarım süreçlerine entegre edilmesi, yoğun kullanımın yol açtığı mekânsal ve sosyal sorunların azaltılmasına katkı sağlayacaktır.
- Bitkisel tasarım, yalnızca estetik bir unsur olarak değil, mikroklima, gölgeleme ve kullanıcı konforu bağlamında ele alınmalı; yerel ekolojiye uygun, farklı katmanlardan oluşan yeşil dokular güçlendirilmelidir.
- Gürültü ve kalabalık algısını azaltmaya yönelik olarak, sessiz dinlenme alanları, yarı-doğal tampon bölgeler ve işlevsel zonlama yaklaşımları uygulanmalıdır.
- Millet bahçelerinin tasarım sürecinde öngörülen fonksiyonların kullanım sonrası performansları düzenli olarak değerlendirilerek geri besleme temelli planlama anlayışı benimsenmelidir.
- Gelecekte gerçekleştirilecek benzer çalışmalarda, nicel memnuniyet analizlerinin yanı sıra nitel veri toplama yöntemleri (derinlemesine görüşmeler, odak grup çalışmaları) kullanılarak kullanıcı algılarının daha derinlemesine incelenmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak Ünye Batıpark Millet Bahçesi, kentsel kıyı alanlarının kamusal kullanım potansiyelini açık biçimde ortaya koymaktadır. Ancak alanın sahip olduğu erişilebilirlik ve çekicilik özelliklerinin uzun vadede sürdürülebilir kullanıcı memnuniyetine dönüşebilmesi, mekânsal kalite, kullanım yoğunluğu ve yönetim stratejilerinin birlikte ele alınmasına bağlıdır. Bu çalışma, kıyı alanlarında yer alan millet bahçelerinin planlama, tasarım ve yönetim süreçlerine yönelik eleştirel bir değerlendirme sunarak, benzer projeler için yol gösterici nitelikte bulgular ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Ahmad, H., Maulan, S., Mariapan, M., & Habib, S. (2011). Users' preferences of usability and sustainability of old urban park in Tabriz, Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5*(11), 1899–1905.

Akyıldız, N. A. (2020). Kentleşme ve kentsel gelişim bağlamında açık kamusal alanların sürdürülebilir kentler açısından değeri. *Milli Folklor, 16*(125), 188–201.

Altıntaş, G., & Serdaroğlu Sağ, N. (2023). Eski stadyum alanından yeni millet bahçesine: Eskişehir kent merkezinde bir dönüşüm örneği. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 12*(26), 12–36.

Anonim, 2025 a. https://www.lafsozluk.com/2009/05/unye-nerededir-nereye-baglidir-unye-hangi.html. Erişim tarihi: 12.12.2025.

Anonim, 2025 b. https://unyebul.com/unye-bati-park-millet-bahcesi/ Erişim tarihi: 12.12.2025.

Anonim, 2025c. https://www.nufusune.com/unye-ilce-nufusu-ordu. Erişim tarihi 12.12.2025.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Millet Bahçeleri Rehberi, (2020). Erişim adresi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/mpgm/editordosya/milletbahcesirehber.pdf, Erişim tarihi: 02.12.2025.

Ferah, B., & Poyraz, O. (2025). Millet bahçelerinin kamusal açık mekânlar olarak kalite analizi: Ümraniye Millet Bahçesi örneği. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7*(1), 11–19.

Güreşçioğlu, S., & Demir, Z. (2019). Düzce Melensu Parkı'nın kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirilmesi. *Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi, 2*(1), 38–51.

Karlıer, G. (2017). *Kent parkları kavramı ve Bursa kent parklarında kullanıcı memnuniyetinin irdelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Kaştaş Uzun, İ., & Şenol, F. (2020). Türkiye'deki kamusal yeşil alanların tarihsel gelişimi ve yeni "millet bahçeleri". *Art-Sanat*, (14), 211–240.

Kuşkonmaz, B. (2020). *Sürdürülebilir kent planlaması bağlamında açık-yeşil alanların yer seçimi: İstanbul millet bahçeleri örneği* (Lisans bitirme ödevi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Küçükyazıcı, U., Oskay, B., Töre, E., Gökşin, Z. A., Erkan Yazıcı, Y., Iavarone, A. H., & Şen, Ş. (2022). Bahçelievler Millet Bahçesi katılımcı tasarım uygulamasında bir aktör olarak üniversite: Katılım merdiveni üzerinden bir değerlendirme. *Planning, 32*(2), 312–328.

Liu, H., Li, F., Xu, L., & Han, B. (2015). The impact of sociodemographic, environmental, and individual factors on urban park visitation in Beijing, China. *Journal of Cleaner Production, 163*, 181–188.

Olgun, R., Kahraman, E., & Karakuş, N. (2022). Evaluation of green spaces in terms of user satisfaction: A case study on Serik/Antalya. *Turkish Journal of Agriculture–Food Science and Technology, 10*(7), 1308–1317.

Önal, S., & Sağır, M. (2018). Ankara kent parklarının kullanımının belirlenmesi. *Ankara Araştırmaları Dergisi, 6*(1), 77–90.

Uzun, S., Müderrisoğlu, H., & Akıncı Kesim, G. (2005). Kentsel alanlardaki parklarda kullanıcı memnuniyeti: Düzce İnönü Parkı örneği. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 1*(2), 111–124.

Uzun, S. (2024). Millet bahçelerinin kullanıcı memnuniyetleri açısından değerlendirilmesi: Düzce Millet Bahçesi örneği. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 20*(2), 41–59.

Wang, D., Brown, G., & Liu, Y. (2015). The physical and non-physical factors that influence perceived access to urban parks. *Landscape and Urban Planning, 133*, 53–66.

Wong, K., & Domroes, M. (2004). Users' perception of Kowloon Park, Hong Kong: Visiting patterns and scenic aspects. *Chinese Geographical Science, 14*(3), 269–275.

Yamane, T. (2001). *Temel örnekleme yöntemleri* (A. Esin, M. A. Bakır, C. Aydın & E. Gürbüzsel, Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Zülkadiroğlu, D. (2022). Millet bahçelerinde alan niteliklerinin kullanıcı açısından incelenmesi: Kahramanmaraş 15 Temmuz Millet Bahçesi örneği. *ArtGRID – Journal of Architecture, Engineering and Fine Arts, 4*(1), 41–56.

A COMPREHENSIVE REVIEW ON PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF ORGANIC POLLUTANTS FROM WASTEWATER

Nazli TURKTEN [1*], Yunus KARATAS [2]

[1*] Kirsehir Ahi Evran University, Faculty of Arts and Sciences, nazli.turkten@ahievran.edu.tr
ORCID ID – 0000-0001-9343-3697
[2] Kirsehir Ahi Evran University, Faculty of Arts and Sciences, ykaratas@ahievran.edu.tr
ORCID ID - 0000-0002-3826-463X

ABSTRACT

Water pollution, primarily wastewater contaminated with dyes generated from various industries, has recently become a global concern due to inadequate wastewater treatment. Recently, different water treatment methods have been applied to remove dyes and recalcitrant aromatic compounds from wastewater. For this purpose, photocatalytic degradation has been developed as a promising, sustainable, eco-friendly, and cost-effective method for treating wastewater, particularly containing dye effluents and persistent compounds, which harm the ecosystem and pose adverse risks to human health. However, the large band gap energy of semiconductors limits their absorption in the visible region. Thus, doping with metals/non-metals, combining with semiconductors, preparing functional nanocomposites, and modifying the surface through polymer-based catalysts are efficient ways to achieve effective catalytic performance and extend their absorption in visible light. This review provides substantial insights into the development of new and efficient catalysts for photocatalysis, as well as their photocatalytic performance on degrading dyes and recalcitrant organic compounds present in wastewater.

Keywords: Catalyst, dye removal, doping, organic pollutants, photocatalytic degradation, water treatment.

1. INTRODUCTION

Clean water is a critical necessity for human activities, a healthy life, and supports all life forms. The discharge of inadequately treated industrial wastewater from the textile, pharmaceutical, plastic, and leather sectors into water bodies has substantial adverse impacts on aquatic ecology and human society. The wastewater produced by chemical industries contains dyes and persistent aromatic compounds that are toxic and difficult to degrade. Therefore, conventional

methods are often ineffective in eliminating these industrial effluents. Although several water purification methods, such as adsorption, membrane separation, and ion-exchange, have been proposed to address the water pollution issue, the drawbacks of these methods include limited adsorption capacity, secondary pollution, and high energy consumption [1-3].

Recent research has focused on innovative, cost-effective, and environmentally friendly methods for water treatment, known as advanced oxidation processes (AOPs). These processes are competent in oxidizing and mineralizing a wide spectrum of recalcitrant organic pollutants through the formation of strong oxidant radicals, such as hydroxyl and sulfate radicals. Fenton, ozonation, heterogeneous photocatalysis, and Fenton assisted by ultrasound are the typical methods of AOPs [4-8].

2. PHOTOCATALYSIS

Photocatalysis is considered one of the most popular chemical-based AOPs due to its economic, highly efficient, and eco-friendly nature. This water treatment technology employs photocatalytic materials that generate electron/hole pairs when exposed to ultraviolet (UV) or visible light [5, 9, 10]. TiO_2 and ZnO semiconductors have been widely used as photocatalysts [11-14]. However, these semiconductors have limitations that constrain their usage and lower their photocatalytic efficiency. The main drawbacks of these semiconductors are their large band gap energy and short charge carrier lifetime [15, 16].

Doping with metals/non-metals for additional energy levels in the bandgap, resulting in an extended absorption range of light. Moreover, the doping strategy reduces the recombination of photogenerated electrons and holes [15, 16]. Recently, numerous studies have been performed on doped TiO_2 photocatalysts using metals/non-metals [17-21]. Fe-doped TiO_2 [17], N-doped TiO_2 [21], Se-doped TiO_2 [20], Cu-doped TiO_2 [22], and Se/N codoped TiO_2 [19] have been studied to achieve visible light response photocatalysts. Yalcin et al. prepared N, C, and S-doped TiO_2 photocatalysts via a wet impregnation method. They found that these non-metal doped TiO_2 photocatalysts revealed a higher photocatalytic activity in degrading 4-nitrophenol (4-NP) compared to sole TiO_2 [18]. In another photocatalytic study, Fe doping resulted in additional electronic levels in the band gap of TiO_2 [17]. Moreover, biotemplates such as rice husk, cotton, and yeast have been studied for preparing self-doped hierarchical photocatalysts [23-26]. Coupling of semiconductors, such as TiO_2/ZnO [27], ZnS/WO_3 [28], $CdSe/TiO_2$ [29] Bi_2WO_6/TiO_2 [30], has been developed to enhance light absorption and improve effective charge carrier separation.

The preparation and reaction conditions of various photocatalysts used in the photocatalysis method are presented in Table 1.

Table 1. Various Photocatalysts used in Photocatalytic Applications

Catalyst Type	Preparation Method	Pollutant	Degradation Time	Photocatalytic Degradation	Ref.
Fe-doped TiO_2	wet impregnation method	4-NP	120 min	UV-light irradiation 64%-80%	[17]
N-doped TiO_2	wet impregnation method	cefazolin	60 min	UV-light irradiation 68%-75% sunlight irradiation 70%-80%	[21]
N, C, and S-doped TiO_2	wet impregnation method	4-NP	120 min. UV-light irradiation 60 min sunlight irradiation	UV-light irradiation N-TiO_2 for 74%-84%, C-TiO_2 for 73%-85%, S-TiO_2 for 73%-82% sunlight irradiation N-TiO_2 for 84%, C-TiO_2 for 85%, S-TiO_2 for 82%	[18]
Se-doped TiO_2	wet impregnation method	4-NP	120 min	UV-light irradiation 73%-80% sunlight irradiation 73%-88%	[20]
Se/N codoped TiO_2	wet impregnation method	4-NP	120 min	UV-light irradiation 74%-82% sunlight irradiation 73%-88%	[19]
Bio-inspired hierarchical microstructure TiO_2	sol-gel method, wet impregnation method	4-NP	120 min	k: 8.22x 10^{-3} min^{-1}	[26]
Three-dimensional hierarchical urchin-like hollow SiO_2@TiO_2 spheres	solvothermal	Rhodamine B	35 min	82%	[31]
PANI/ZnO composites	*in-situ* chemical oxidation polymerization method under neutral conditions, hybridization method	Methylene blue	120 min	95%	[32]
PANI/TiO_2/CuO composites	*in-situ* chemical oxidation polymerization, mechano-chemical preparation	Reactive Blue-198	60 min	90%	[33]

Previous photocatalytic studies have focused on preparing polymer-based composites, particularly conducting polymers, for modifying the semiconductor surfaces. Therefore, polyaniline (PANI) heterojunction systems have been developed to overcome the limitations of metal oxide semiconductors [32, 34-37]. In our previous studies, binary PANI composites, such as PANI/TiO_2 [35], PANI/ZnO [32], PANI/CuO [38], and carbonized PANI/TiO_2 [39], and ternary PANI/CuO/TiO_2 [33] have been prepared recently.

3. CONCLUSIONS

The increase in contaminated dye effluents and toxic aromatic compounds entering water bodies through the discharge of inadequate wastewater from industrial processes is a global concern that requires urgent attention. This review study focuses on the preparation strategies for cost-efficient and sustainable photocatalysts to degrade the recalcitrant organic pollutants in water. Doping metal and non-metal elements, coupling with other semiconductors, and using polymer-based composite materials enhance the absorption of visible light and reduce the recombination rate of photogenerated electrons and holes.

REFERENCES

1. Kanwal, F., et al., *Enhanced dye photodegradation through ZnO and ZnO-based photocatalysts doped with selective transition metals: a review.* Environmental Technology Reviews, 2024. **13**(1): p. 754–793.
2. Li, N., et al., *Recent Developments in Functional Nanocomposite Photocatalysts for Wastewater Treatment: A Review.* Advanced Sustainable Systems, 2022. **6**(7): p. 2200106.
3. Kumari, H., et al., *A Review on Photocatalysis Used For Wastewater Treatment: Dye Degradation.* Water, Air, & Soil Pollution, 2023. **234**(6): p. 349.
4. Singh, P., et al., *Nanomaterials photocatalytic activities for waste water treatment: a review.* Environmental Science and Pollution Research, 2022. **29**(46): p. 69294–69326.
5. Ahuja, T., U. Brighu, and K. Saxena, *Recent advances in photocatalytic materials and their applications for treatment of wastewater: A review.* Journal of Water Process Engineering, 2023. **53**: p. 103759.
6. Almomani, F.A., et al., *Removal of emerging pharmaceuticals from wastewater by ozone-based advanced oxidation processes.* Environmental Progress & Sustainable Energy, 2016. **35**(4): p. 982–995.
7. Cavalheri, P.S., et al., *Ketoprofen and diclofenac removal and toxicity abatement in a real scale sewage treatment Plant by photo-Fenton Process with design of experiments.* Journal of Environmental Chemical Engineering, 2023. **11**(5): p. 110699.
8. Morin-Crini, N., et al., *Removal of emerging contaminants from wastewater using advanced treatments. A review.* Environmental Chemistry Letters, 2022. **20**(2): p. 1333–1375.
9. Okpara, E.C., et al., *Applications of Transition Metal Oxides and Chalcogenides and their Composites in Water Treatment: a review.* Environmental Advances, 2023. **11**: p. 100341.

10. Bora, L.V. and R.K. Mewada, *Visible/solar light active photocatalysts for organic effluent treatment: Fundamentals, mechanisms and parametric review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. **76**: p. 1393–1421.
11. Yadav, S., et al., *A review on degradation of organic dyes by using metal oxide semiconductors.* Environmental Science and Pollution Research, 2023. **30**(28): p. 71912–71932.
12. Van Thuan, D., et al., *Photodegradation of hazardous organic pollutants using titanium oxides -based photocatalytic: A review.* Environmental Research, 2023. **229**: p. 116000.
13. Nakata, K. and A. Fujishima, *TiO_2 photocatalysis: Design and applications.* Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 2012. **13**(3): p. 169–189.
14. Ong, C.B., L.Y. Ng, and A.W. Mohammad, *A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. **81**: p. 536–551.
15. Mohd Zaki, R.S.R., et al., *Recent advances in metal oxide photocatalysts for photocatalytic degradation of organic pollutants: A review on photocatalysts modification strategies.* Materials Today: Proceedings, 2024. **107**: p. 59–67.
16. Hong, J., et al., *Recent advances in wastewater treatment using semiconductor photocatalysts.* Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 2022. **36**: p. 100644.
17. Yalçın, Y., M. Kılıç, and Z. Çınar, *Fe^{+3}-doped TiO_2: A combined experimental and computational approach to the evaluation of visible light activity.* Applied Catalysis B: Environmental, 2010. **99**(3-4): p. 469–477.
18. Yalçın, Y., M. Kılıç, and Z. Çınar, *The Role of Non-Metal Doping in TiO_2 Photocatalysis.* Journal of Advanced Oxidation Technologies, 2010. **13**(3): p. 281–296.
19. Gurkan, Y., et al., *Influence of Se/N Codoping on the Structural, Optical, Electronic and Photocatalytic Properties of TiO_2.* Molecules, 2017. **22**(3): p. 414.
20. Gurkan, Y.Y., E. Kasapbasi, and Z. Cinar, *Enhanced solar photocatalytic activity of TiO_2 by selenium(IV) ion-doping: Characterization and DFT modeling of the surface.* Chemical Engineering Journal, 2013. **214**: p. 34–44.
21. Gurkan, Y.Y., et al., *Photocatalytic degradation of cefazolin over N-doped TiO_2 under UV and sunlight irradiation: Prediction of the reaction paths via conceptual DFT.* Chemical Engineering Journal, 2012. **184**: p. 113–124.
22. Turkten, N., et al., *Copper-doped TiO_2 photocatalysts: application to drinking water by humic matter degradation.* Environ Sci Pollut Res Int, 2019. **26**(36): p. 36096–36106.
23. Li, J., et al., *A biotemplate synthesized hierarchical Sn-doped TiO_2 with superior photocatalytic capacity under simulated solar light.* Ceramics International, 2021. **47**(6): p. 8218–8227.
24. Chen, Y., et al. *Fabrication of TiO_2 Hollow Spheres Using Yeast as Bio-Templates and Their Photocatalytic Performance for the Degradation of CBW Wastewater*. in *Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), 2010 4th International Conference on*. 2010.
25. Chen, H., et al., *A novel Zn–TiO_2/C@SiO_2 nanoporous material on rice husk for photocatalytic applications under visible light.* Desalination and Water Treatment, 2016. **57**(21): p. 9660–9670.

26. Turkten, N., et al., *A facile synthesis of bio-inspired hierarchical microstructure TiO_2: Characterization and photocatalytic activity.* Environmental Progress & Sustainable Energy, 2022. **42**(3): p. e14054.
27. Turkten, N. and M. Bekbolet, *Photocatalytic performance of titanium dioxide and zinc oxide binary system on degradation of humic matter.* Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2020. **401**.
28. Murillo-Sierra, J.C., et al., *Facile synthesis of ZnS/WO3 coupled photocatalyst and its application on sulfamethoxazole degradation.* Ceramics International, 2022. **48**(10): p. 13761–13769.
29. Lo, S.-C., et al., *Capability of coupled CdSe/TiO_2 for photocatalytic degradation of 4-chlorophenol.* Journal of Hazardous Materials, 2004. **114**(1): p. 183–190.
30. Xu, J., et al., *Enhancing visible-light-induced photocatalytic activity by coupling with wide-band-gap semiconductor: A case study on Bi_2WO_6/TiO_2.* Applied Catalysis B: Environmental, 2012. **111-112**: p. 126–132.
31. Bao, Y., et al., *Morphology control of 3D hierarchical urchin-like hollow SiO_2@TiO_2 spheres for photocatalytic degradation: Influence of calcination temperature.* Journal of Alloys and Compounds, 2021. **853**: p. 157202.
32. Turkten, N., Y. Karatas, and M. Bekbolet, *Preparation of PANI Modified ZnO Composites via Different Methods: Structural, Morphological and Photocatalytic Properties.* Water, 2021. **13**(8).
33. Turkten, N., et al., *Enhanced photocatalytic degradation of diazo reactive blue 198 using ternary PANI-TiO_2-CuO composites: Predicted degradation pathway, mechanism, and DFT calculations.* Physica B: Condensed Matter, 2025. **717**: p. 417802.
34. Turkten, N., Y. Karatas, and M. Bekbolet, *Conducting Polymers and Photocatalysis: A Mini Review on Selected Conducting Polymers and Photocatalysts as TiO_2 and ZnO.* Journal of Photocatalysis, 2021. **2**(4): p. 252–270.
35. Turkten, N., et al., *Preparation of PANI modified TiO_2 and characterization under pre- and post- photocatalytic conditions.* Environmental Science and Pollution Research, 2023. **30**(51): p. 111182–111207.
36. Radoičić, M., et al., *Superior photocatalytic properties of carbonized PANI/TiO_2 nanocomposites.* Applied Catalysis B: Environmental, 2017. **213**: p. 155–166.
37. Rahman, K.H. and A.K. Kar, *Effect of band gap variation and sensitization process of polyaniline (PANI)-TiO_2 p-n heterojunction photocatalysts on the enhancement of photocatalytic degradation of toxic methylene blue with UV irradiation.* Journal of Environmental Chemical Engineering, 2020. **8**(5): p. 104181.
38. Turkten, N., Y. Karatas, and Y.Y. Gurkan, *New Insights into the application of Copper-Based polymer composites as Catalysts: An Indepth experimental and computational study.* Inorganic Chemistry Communications, 2025. **174**: p. 113919.
39. Ceran, G., N. Turkten, and Y. Karatas, *Synthesis and characterization of carbonized PANI–TiO_2 composites for enhanced photocatalytic removal of antibiotic contaminants.* Journal of Water Process Engineering, 2025. **79**: p. 109015.

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

WEAK FIXED POINT PROPERTY FAILURE IN A KÖTHE–TOEPLITZ TYPE FUNCTION SPACE ASSOCIATED WITH A SCALED–WEIGHT α –DUAL STRUCTURE

Prof. Dr. Veysel NEZİR

Kafkas Üniversitesi, veyselnezir@yahoo.com - 0000-0001-9640-8526

ABSTRACT

In this paper, we introduce and study a new Banach function space $W_v^{(m)}$, which arises as the functional analogue of the second Köthe–Toeplitz α–dual sequence space

$$W_1^{m-r}(v) = \left\{ a = (a_k) \in \omega : \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^{\,m-r}|v_k|} \, |a_k| < \infty \right\}, \qquad m \in \mathbb{N}, \qquad 1 \le r \le m.$$

This dual space is obtained from the generalized difference scheme of Et and Esi (2000) and Bektaş, Et, and Çolak (2004) by replacing the original weight v_k with the scaled weight $k^{2m-2r}|v_k|$ inside the difference operator. The resulting α–dual has coefficients $1/(k^{m-r}|v_k|)$ and plays a central role in the duality theory of generalized difference spaces.

The function space $W_v^{(m)}$ is constructed by replacing the discrete expression $|a_k|/(k^{m-r}|v_k|)$ with its continuous counterpart obtained via an integral operator involving the same weight system. When Lebesgue measure is replaced by counting measure, the functional space reduces exactly to $W_1^{m-r}(v)$, making $W_v^{(m)}$ a faithful continuous analogue of this second Köthe–Toeplitz dual structure.

Following the geometric method initiated by Alspach in 1981 for producing fixed point free nonexpansive mappings on weakly compact convex subsets of L^1, and later extended in various contexts by Sine, Dowling, Lennard, Turett, and others, we adapt these ideas to the setting of $W_v^{(m)}$. We prove the existence of fixed point free invariant isometries and fixed point free strict contractions on suitable weakly compact convex subsets of $W_v^{(m)}$. Consequently, the space fails the weak fixed point property, the weakly compact fixed point property, and the weak fixed point property for strict contractions.

These results show that the negative fixed point phenomena known for generalized difference sequence spaces and their Köthe–Toeplitz duals persist simultaneously in both of their functional analogues $U_v^{(m)}$ and $W_v^{(m)}$. In particular, the geometry of $W_v^{(m)}$ exhibits the same translation–rigidity responsible for fixed point failure in the discrete setting.

Anahtar Kelimeler: Nonexpansive mapping, contractive mapping, fixed point property, weak fixed point property, difference sequences, Kothe-Toeplitz duals.

1. INTRODUCTION

The theory of generalized difference sequence spaces originates from the work of Kızmaz (1981), who introduced the classical first–order difference spaces

$$\ell^{\infty}(\Delta), \qquad c(\Delta), \qquad c_0(\Delta),$$

defined by the difference operator $(\Delta x)_k = x_k - x_{k+1}$. Subsequently, Çolak (1989) considered weighted and higher–order difference operators, thereby initiating the modern theory of generalized difference sequence spaces.

A systematic development of this theory was carried out by Et and Çolak (1995), Et and Esi (2000), and Et and Işık (2012). In particular, these authors defined the weighted m–th order difference operator

$$(\Delta_v^{(m)} x)_k = \sum_{i=0}^{m} (-1)^i \binom{m}{i} v_{k+i} x_{k+i},$$

where $v = (v_k)$ is a sequence of nonzero real numbers, and they studied the associated generalized difference sequence spaces

$$\Delta_v^{(m)}(X) = \{x = (x_k) : \Delta_v^{(m)} x \in X\}, \qquad X \in \{\ell^{\infty}, c, c_0\},$$

together with their Köthe–Toeplitz duals. A complete description of the dual spaces for all such generalized difference sequence spaces was obtained by Bektaş, Et, and Çolak (2004). For given integers $m \in \mathbb{N}$ and $r \in \{1, \dots, m\}$, the associated α–dual can be written in a weighted ℓ^1–form.

One important family of such duals is given by the spaces

$$U_1^{m-r}(v) = \ell\left(\frac{k^{\,m-r}}{|v_k|}\right) = \left\{a = (a_k) \in \omega : \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k^{\,m-r}}{|v_k|} |a_k| < \infty\right\},$$

which are linearly isometric to ℓ^1. These spaces were used to construct function–space analogues $U_v^{(m)}$ that fail several fixed point properties.

To describe the second dual component, one uses a standard duality principle in the generalized difference theory: replacing the weight v_k by

$$v_{k\prime} := k^{\,2m-2r} |v_k|$$

inside the difference operator produces a new sequence space whose α–dual is

$$U_1^{m-r}(v') = \ell\left(\frac{k^{\,m-r}}{|v_{k\prime}|}\right) = \ell\left(\frac{1}{k^{\,m-r}|v_k|}\right).$$

It is therefore natural to denote this second dual by

$$W_1^{m-r}(v) := U_1^{m-r}(v') = \left\{a = (a_k) \in \omega : \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^{\,m-r}|v_k|} |a_k| < \infty\right\}.$$

Thus $U_1^{m-r}(v)$ and $W_1^{m-r}(v)$ form two fundamental Köthe–Toeplitz duals associated with the same generalized difference operator but with the pair of weights v_k and $k^{2m-2r}|v_k|$.

The aim of the present paper is to construct a Banach function space $W_v^{(m)}$ which is a continuous analogue of the sequence space $W_1^{m-r}(v)$ and to show that this function space also fails several fixed point properties. Our approach parallels the arguments used for $U_v^{(m)}$ but exploits the different weight structure appearing in $W_1^{m-r}(v)$.

The motivation again comes from fixed point theory. Alspach (1981) constructed the first fixed point free nonexpansive mapping on a weakly compact convex subset of L^1, showing that classical convexity arguments do not guarantee fixed points for nonexpansive maps in general. Sine (1981) and Dowling, Lennard, and Turett (2003, 2007) extended these constructions, producing families of invariant fixed point free isometries on weakly compact subsets of $L^1[0,1]$. Burns, Lennard, and Sivek (2014) and Sivek (2014) later showed that even strict contractions may fail to possess fixed points on such sets.

Since $W_1^{m-r}(v)$ is again a weighted ℓ^1–space, and since its functional analogue $W_v^{(m)}$ preserves this geometry through a suitable integral representation, it is natural to expect similar fixed point failures in this setting. In this paper we confirm this by constructing weakly compact convex subsets of $W_v^{(m)}$ which admit invariant fixed point free isometries and strict contractions.

2. PRELIMINARIES

We briefly recall the background from generalized difference sequence spaces and introduce the Banach function space $W_v^{(m)}$.

2.1 Generalized Difference Sequence Spaces and Their Duals

The classical difference sequence spaces $\ell^\infty(\Delta)$, $c(\Delta)$, and $c_0(\Delta)$ were introduced by Kızmaz (1981) using the first-order difference operator $(\Delta x)_k = x_k - x_{k+1}$. Çolak (1989) generalized this construction to higher-order difference operators and to weighted versions, thereby obtaining large classes of generalized difference sequence spaces.

A further step was taken by Et and Çolak (1995), who introduced the weighted m–th order difference operator

$$(\Delta_v^{(m)}x)_k = \sum_{i=0}^{m} (-1)^i \binom{m}{i} v_{k+i}x_{k+i},$$

where $v = (v_k)$ is a sequence of nonzero real numbers. This operator leads to generalized difference sequence spaces

$$\Delta_v^{(m)}(X) = \{x = (x_k): \Delta_v^{(m)} x \in X\}, \qquad X \in \{\ell^\infty, c, c_0\}.$$

The Köthe–Toeplitz duals of these spaces were computed in detail by Et and Esi (2000) and Et and Işık (2012). Bektaş, Et, and Çolak (2004) provided a unified treatment, giving explicit formulas for the dual spaces for all admissible values of the parameters.

For fixed $m \in \mathbb{N}$ and $1 \le r \le m$, one obtains the α–dual sequence space

$$U_1^{m-r}(v) = \ell\left(\frac{k^{\,m-r}}{|v_k|}\right) = \left\{a = (a_k) \in \omega: \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k^{\,m-r}}{|v_k|}\,|a_k| < \infty\right\}.$$

This space is linearly isometric to ℓ^1. Replacing v_k by the scaled weight $v_{k'} = k^{\,2m-2r}|v_k|$ inside the difference operator yields a second dual component,

$$W_1^{m-r}(v) = U_1^{m-r}(v') = \ell\left(\frac{1}{k^{\,m-r}|v_k|}\right) = \left\{a = (a_k) \in \omega: \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^{\,m-r}|v_k|}\,|a_k| < \infty\right\}.$$

Both $U_1^{m-r}(v)$ and $W_1^{m-r}(v)$ are weighted ℓ^1–spaces and therefore share the geometric properties of ℓ^1.

Further generalizations and additional Köthe–Toeplitz duals for difference sequence spaces were obtained by Ansari and Chaudhry (2012), who confirmed the pervasive appearance of such weighted ℓ^1–type structures.

2.2 From Sequence Spaces to Function Spaces

Motivated by the above sequence space duality, we now construct a continuous analogue of $W_1^{m-r}(v)$. Let $v(t)$ be a measurable nonvanishing weight on $[0,1]$. We define

$$W_v^{(m)} = \left\{f \in L^1[0,1]: \int_0^1 \frac{|f(t)|}{t^{\,m-r}|v(t)|}\,dt < \infty\right\}, \tag{2.1}$$

with norm

$$\| f \|_{W_v^{(m)}} = \int_0^1 \frac{|f(t)|}{t^{\,m-r}|v(t)|}\,dt. \tag{2.2}$$

This is clearly a Banach function space: completeness follows from the completeness of $L^1[0,1]$ and the linearity of the weight transform.

If Lebesgue measure is replaced by the counting measure on $\mathbb{N}$ and f is restricted to step functions supported on unit intervals around the integers, the integral in (2.2) reduces to the series

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{|a_k|}{k^{\,m-r}|v_k|},$$

so that $W_v^{(m)}$ collapses exactly to the sequence space $W_1^{m-r}(v)$. Thus $W_v^{(m)}$ is a legitimate functional analogue of the second Köthe–Toeplitz dual space.

For later use we introduce the linear isometry

$$J_W: W_v^{(m)} \to L^1[0,1], \qquad J_W(f)(t) = \frac{f(t)}{t^{\,m-r}|v(t)|}. \quad (2.3)$$

Then

$$\| f \|_{W_v^{(m)}} = \int_0^1 |J_W(f)(t)|\, dt = \| J_W(f) \|_{L^1},$$

so J_W is an isometric isomorphism from $W_v^{(m)}$ onto $L^1[0,1]$.

3. MAIN RESULTS

In this section we show that the Banach function space $W_v^{(m)}$ fails the fixed point property in a strong sense. More precisely, we construct weakly compact, convex subsets of $W_v^{(m)}$ on which there exist several invariant fixed point free isometries and, in addition, invariant fixed point free strict contractions. Our approach follows the classical ideas of Alspach (1981), Sine (1981), Dowling, Lennard, and Turett (2003, 2007), and Burns, Lennard, and Sivek (2014), adapted to the weighted functional Köthe–Toeplitz dual $W_v^{(m)}$.

Throughout this section we fix integers $m \in \mathbb{N}$ and $r \in \{1, \dots, m\}$, and we assume that the measurable weight $v(t)$ on $[0,1]$ satisfies

$$0 < c \le |v(t)| \le C < \infty, \qquad t \in [0,1],$$

so that the norm (2.2) is well defined.

3.1 A Weakly Compact Convex Subset of $W_v^{(m)}$

On $L^1[0,1]$ we consider the classical Alspach set

$$A = \left\{ g \in L^1[0,1] : 0 \le g(t) \le 1 \ \text{a. e.}, \int_0^1 g(t)dt = \frac{1}{2} \right\},$$

which is nonempty, convex, and weakly compact; this follows from the Dunford–Pettis theorem as used by Alspach (1981).

Transporting A back to $W_v^{(m)}$ through the isometry J_W we define

$$K_{w,m} = \{ f \in W_v^{(m)} : J_W(f) \in A \}.$$

Equivalently,

$$K_{w,m} = \left\{ f \in W_v^{(m)} : 0 \le \frac{f(t)}{t^{\,m-r}|v(t)|} \le 1 \ \text{a. e.}, \int_0^1 \frac{f(t)}{t^{\,m-r}|v(t)|}\, dt = \frac{1}{2} \right\},$$

so that $0 \le f(t) \le t^{\,m-r}|v(t)|$ almost everywhere on $[0,1]$.

Lemma 3.1 *For every $m \in \mathbb{N}$ the set $K_{w,m}$ is nonempty, convex, and weakly compact in $W_v^{(m)}$.*

Proof. If $g \in A$, then $f := J_W^{-1}(g)$ belongs to $W_v^{(m)}$ and hence to $K_{w,m}$, so $K_{w,m}$ is nonempty. Convexity follows from the linearity of J_W.

Since J_W is an isometric isomorphism, a subset of $W_v^{(m)}$ is weakly compact if and only if its image under J_W is weakly compact in $L^1[0,1]$. But $J_W(K_{w,m}) = A$, which is weakly compact by the Dunford–Pettis theorem. Hence $K_{w,m}$ is weakly compact in $W_v^{(m)}$.

3.2 Fixed Point Free Isometries on $K_{w,m}$

Let $T: A \to A$ be Alspach's fixed point free isometry on A (Alspach, 1981). Following Sine (1981) and Dowling, Lennard, and Turett (2003, 2007), one can construct further mappings $T_1, T_2: A \to A$ which are fixed point free isometries with additional invariance properties (for example, rearrangement and folding symmetries). We do not need their explicit formulas; it is enough that each T_i is an isometry on A with no fixed point.

Transporting these maps to $W_v^{(m)}$ we set, for $f \in K_{w,m}$,

$$\Sigma_W(f) := J_W^{-1}(T(J_W(f))), \qquad \rho_W(f) := J_W^{-1}(T_1(J_W(f))), \qquad \hat{\Sigma}_W(f) := J_W^{-1}(T_2(J_W(f))).$$

In terms of the original Alspach mapping T we may also write the explicit formula

$$(\Sigma_W f)(t) = t^{\,m-r}|v(t)|\, T\left(\frac{f(t)}{t^{\,m-r}|v(t)|}\right), \qquad t \in [0,1].$$

Theorem 3.2 (Fixed point free isometries on $W_v^{(m)}$) *For each $m \in \mathbb{N}$ the mappings*

$$\Sigma_W,\ \rho_W,\ \hat{\Sigma}_W: K_{w,m} \to K_{w,m}$$

are isometries with respect to $\|\cdot\|_{W_v^{(m)}}$, and none of them has a fixed point. In particular, $W_v^{(m)}$ fails the weak fixed point property.

Proof. Let $f, g \in K_{w,m}$. Using the isometric property of J_W and of T on A we have

$$\| \Sigma_W(f) - \Sigma_W(g) \|_{W_v^{(m)}} = \| T(J_W(f)) - T(J_W(g)) \|_{L^1} = \| J_W(f) - J_W(g) \|_{L^1} =$$

$$\| f - g \|_{W_v^{(m)}},$$

so Σ_W is an isometry. The same argument applies to ρ_W and $\hat{\Sigma}_W$ with T_1 and T_2 in place of T. If $\Sigma_W(f) = f$ for some $f \in K_{w,m}$, then $T(J_W(f)) = J_W(f)$, contradicting the fact that T has no

fixed point on A (Alspach, 1981). A similar argument, using that T_1 and T_2 are fixed point free (Sine, 1981; Dowling, Lennard, & Turett, 2003, 2007), shows that ρ_W and $\hat{\Sigma}_W$ are also fixed point free. Since $K_{w,m}$ is weakly compact and convex by Lemma 3.1, the space $W_v^{(m)}$ fails the weak fixed point property.

3.3 Fixed Point Free Strict Contractions on $K_{w,m}$

We now adapt the constructions of Burns, Lennard, and Sivek (2014) and Sivek (2014) to the present setting. On $A \subset L^1[0,1]$, Burns, Lennard, and Sivek define, for a given fixed point free isometry $T: A \to A$, the mapping

$$R(g) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{T^{2n+1}(g)}{2^{n+1}}, \qquad g \in A,$$

and prove that $R: A \to A$ is a strict contraction with no fixed point. The series converges in $L^1[0,1]$ and satisfies

$$\| R(g) - R(h) \|_{L^1} \leq \frac{1}{2} \| g - h \|_{L^1}, \qquad g, h \in A;$$

see Burns, Lennard, and Sivek (2014, Theorem 2.3). A similar construction based on other invariant isometries is described in Sivek (2014, Section I.C).

Transporting R to $W_v^{(m)}$ via J_W we define

$$R_w(f) := J_W^{-1}(R(J_W(f))), \qquad f \in K_{w,m}.$$

Theorem 3.3 (Fixed point free strict contractions on $W_v^{(m)}$) *For each $m \in \mathbb{N}$ the mapping*

$$R_w: K_{w,m} \to K_{w,m}$$

is a strict contraction with respect to $\|\cdot\|_{W_v^{(m)}}$ and has no fixed point. Consequently, $W_v^{(m)}$ fails the fixed point property even for strict contractions.

Proof. Let $f, g \in K_{w,m}$. Using the definition of R_w and the estimates for R on A we obtain

$$\begin{aligned} \| R_w(f) - R_w(g) \|_{W_v^{(m)}} = \| R(J_W(f)) - R(J_W(g)) \|_{L^1} &\leq \frac{1}{2} \| J_W(f) - J_W(g) \|_{L^1} \\ &= \frac{1}{2} \| f - g \|_{W_v^{(m)}}, \end{aligned}$$

so R_w is a strict contraction.

If $R_w(f) = f$ for some $f \in K_{w,m}$, then $R(J_W(f)) = J_W(f)$, which contradicts the fact that R has no fixed point on A (Burns, Lennard, & Sivek, 2014; Sivek, 2014). Thus R_w is fixed point

free. Since $K_{w,m}$ is weakly compact and convex, $W_v^{(m)}$ does not possess the fixed point property for strict contractions.

3.4 Consequences

Combining Theorems 3.2 and 3.3 we obtain the following corollary.

Corollary 3.4 *The Banach function space $W_v^{(m)}$ fails the fixed point property (FPP) and the weak fixed point property (WFPP).*

This shows that the negative fixed point phenomena discovered by Alspach (1981), Sine (1981), Dowling, Lennard, and Turett (2003, 2007), and Burns, Lennard, and Sivek (2014) on weakly compact convex subsets of $L^1[0,1]$ persist in the weighted functional Köthe–Toeplitz dual spaces $W_v^{(m)}$ associated with generalized difference sequence structures.

REFERENCES

[1] Alspach, D. E. (1981). A fixed point free nonexpansive map. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 82, 423–424.

[2] Ansari, A. A., & Chaudhry, V. K. (2012). On Köthe–Toeplitz duals of some new and generalized difference sequence spaces. *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 29, 135–148.

[2] Bektaş, Ç. A., Et, M., & Çolak, R. (2004). Generalized difference sequence spaces and their dual spaces. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 292(2), 423–432.

[3] Burns, J., Lennard, C., & Sivek, P. (2014). Fixed point free contractions on a weakly compact convex subset of $L^1[0,1]$. *Studia Mathematica*. (Published online).

[4] Çolak, R. (1989). On some generalized sequence spaces. *Communications, Faculty of Sciences, University of Ankara, Series A1: Mathematics and Statistics*, 38, 35–46.

[5] Dowling, P. N., Lennard, C. J., & Turett, B. (2003). Weak fixed point property for nonexpansive mappings and a duality method. *Studia Mathematica*, 154(3), 277–293.

[6] Et, M. (1996). Some results on generalized difference sequence spaces. *Communications in Mathematical Analysis*. (Details omitted.)

[7] Et, M., & Çolak, R. (1995). On some generalized difference sequence spaces. *Soochow Journal of Mathematics*, 21(4), 377–386.

[8] Et, M., & Esi, A. (2000). On Köthe–Toeplitz duals of generalized difference sequence

spaces. *Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society*, 23(1), 25–32.

[9] Et, M., & Işık, M. (2012). On p^{α}-dual spaces of generalized difference sequence spaces. *Applied Mathematics Letters*, 25(10), 1486–1489.

[10] Kızmaz, H. (1981). On certain sequence spaces. *Canadian Mathematical Bulletin*, 24(2), 169–176.

[11] Lindenstrauss, J., & Tzafriri, L. (1977). *Classical Banach Spaces I: Sequence Spaces*. Berlin, Germany: Springer.

[12] Sine, R. C. (1981). On a fixed point theorem of Goebel and Kirk. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 73, 195–198.

[13] Sivek, P. (2014). *Fixed Point Free Isometries on Weakly Compact Convex Sets* (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

PERİYODİK SINIR ŞARTLARI İLE VERİLEN SÜREKSİZ STURM-LİOUVİLE PROBLEMİNİN ÖZDEĞER VE ÖZFONKSİYONLARI

YL. Öğrencisi ZİYAEDDİN ŞEKER
Amasya Üniversitesi, ziyaeddin21@gmail.com-0009-0008-2470-5562
Prof., KADRİYE AYDEMİR
Amasya Üniversitesi, kadriyeaydemr@gmail.com-0000-0002-8378-3949
Prof., OKTAY Sh. MUKHTAROV
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, omukhtarov@yahoo.com-0000-0001-7480-6857

ÖZET

Sturm–Liouville denklemleri, matematiksel fizikte yaygın olarak kullanılan ve sürekli gelişim gösteren bir araştırma alanıdır. Birçok ikinci mertebeden diferansiyel denklem, çeşitli fiziksel olgulardan türetilmekte ve sonuç olarak Sturm–Liouville tipi denklemler biçiminde ifade edilebilmektedir. Sturm–Liouville teorisine göre, bu denklemlere ait özdeğerler sıralanabilir ve karşılık gelen özfonksiyonlar ortogonal bir baz oluşturur. Bu özellikler, dinamik sistemlerin spektral yapısının incelenmesinde temel bir araç hâline gelmiştir.

Bu çalışmada,

$$-x''(t) + q(t)\,x(t) = \rho\,x(t), \quad t \in [\sigma, \sigma+\varepsilon) \cup (\sigma+\varepsilon, \tau] \qquad (1)$$

diferensiyel denkleminden,

$$x(\sigma) = x(\tau) \qquad (2)$$

$$x'(\sigma) = x'(\tau) \qquad (3)$$

periyodik sınır şartlarından ve $t = \sigma + \varepsilon$ süreksizlik noktasındaki

$$x\big((\sigma+\varepsilon)+0\big) = \alpha x\big((\sigma+\varepsilon)-0\big) \qquad (4)$$

$$x'\big((\sigma+\varepsilon)+0\big) = \beta x'\big((\sigma+\varepsilon)-0\big) \qquad (5)$$

geçiş şartlarından oluşan periyodik sınır-değer-geçiş probleminin özdeğerlerinin reelliği ve özfonksiyonlarının ortogonalliği araştırılmıştır. $q(t)$, $[\sigma, \sigma+\varepsilon) \cup (\sigma+\varepsilon, \tau]$ aralıklarında sürekli olan, $t = \sigma + \varepsilon$ noktasında ise $q\big((\sigma+\varepsilon)+0\big)$, $q\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)$ sonlu limit değerlerine sahip fonksiyonlardır. α, β reel sayılar ve ρ ise kompleks özdeğer parametresidir.

Anahtar Kelimeler : Sturm-Liouville diferansiyel denklemi, periyodik sınır şartı, özdeğer, özfonksiyon.

1. GİRİŞ

Sturm teorisi, hem teorik hem de uygulamalı matematikte en kapsamlı ve pratik kuramsal yaklaşımlardan biri olarak kabul edilmektedir. Matematik ve fizikte ortaya çıkan pek çok problem, Sturm–Liouville (S–L) sınır-özdeğer problemleri çerçevesinde modellenebilmektedir. S–L problemleri üzerine yapılan çok sayıdaki çalışma içerisinde, özfonksiyonlar ve özdeğerler önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmakta ve bu alandaki çalışmalar pek çok temel gelişmeye öncülük etmektedir [7, 13, 14, 15, 16]. Bu araştırmalar, diferansiyel operatörlerin temel teorisinin oluşturulması, spektral problemlere yönelik sayısal yöntemlerin geliştirilmesi ve ters spektral problemlerin incelenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin, klasik S–L problemlerinde özdeğerlerin nitel özellikleri birçok araştırmacı tarafından ayrıntılı biçimde ele alınmıştır [1, 2, 6, 8, 10]. Ayrıca, [11] numaralı çalışmada diferansiyel denklemler bağlamında benzer problemler incelenmiş; [17] numaralı çalışmada ise bu yaklaşımlar ayrık Sturm–Liouville problemlerine ve yüksek mertebeden S–L problemlerine genelleştirilmiştir.
Son yıllarda, süreksiz özelliklere sahip diferansiyel denklemler teorisi, yani iletim koşullarına sahip S-L problemleri de büyük ilgi görmüştür S-L problemleriyle ilgili bir diğer araştırma konusu ise özdeğer parametresine bağlı sınır koşullarına (BC'ler) sahip S-L problemidir. Bu konular, ısı iletim problemleri ve titreşen tel problemleri gibi fiziksel problemlerin yanı sıra manyetik akışkan mekaniği [5, 10, 16] tarafından tetiklenmiştir. Bu problemler üzerine birçok çalışma vardır, bunlar arasında kendine eşleniklik, spektral özellikler, ters spektral teori vb. yer almaktadır, bkz. [1, 4]. İletim koşullarına veya özdeğer parametresine bağlı sınır şartlarına sahip daha yüksek mertebeli sınır değer problemleri hakkında önemli özdeğer bağımlılığı üzerine hala birkaç çalışmalar mevcuttur [3, 9, 12]. Bu çalışmada aralığın bir iç noktasında süreksizliğe ve periyodik sınır şartlarına sahip bir Sturm-Liouville probleminin özdeğerleri ve özfonksiyonları araştırılmıştır. Süreksizlik notasında iki tane geçiş şartı verilmiştir.

3. PROBLEMİN KENDİNE EŞLENİKLİĞİ

Teorem. $H := L_2[\sigma, \sigma+\varepsilon) \oplus L_2(\sigma+\varepsilon, \tau]$ uzayında $u, v \in H$ için

$$\langle \mathrm{u}, \mathrm{v} \rangle_H = \int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0} u\overline{v}\mathrm{dt} + \int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau} u\overline{v}\mathrm{dt} \qquad (6)$$

eşitliği bir iç çarpım uzayı tanımlar. Bu uzay H bir Hilbert uzayıdır.

Teorem. $\alpha\beta = 1$ şartı altında (1)-(5) eşitlikleri ile verilen periyodik sınır değer geçiş problemi kendine eşleniktir.

İspat. $L(t)$ diferensiyel operatörü$L(t) := -x(t) + q(t)\,x(t) - \rho\,x(t)$ ile tanımlansın. $u, v\ C^2[\sigma, \sigma+\varepsilon) \oplus C^2(\sigma+\varepsilon, \tau]$ (2)-(5) sınır-geçiş şartlarını sağlansın. Problemin kendine eşlenik olduğunu göstermek için,

$$\langle u, \mathrm{L}(v) \rangle_H = \langle u, \mathrm{L}(v) \rangle_H$$

veya

$$\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0}[uL(v)-vL(u)]\,dt+\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}[uL(v)-vL(u)]\,\mathrm{dt}=0$$

olduğunu göstermeliyiz. Burada sırasıyla $L(v)$ ifadesi u ile $L(u)$ ifadesi v ile çarpılırsa,

$$uL(v)=-v''u+\ qvu\ -\rho vu$$

ve

$$vL(u)=-u''v+\ quv\ -\rho uv$$

eşitlikleri elde edilir. Bu eşitlikler taraf tarafa çıkarılırsa,

$$uL(v)-vL(u)=(u''v-v''u)$$

yani,

$$uL(v)-vL(u)=(u'v-v'u)' \qquad (7)$$

bulunur.Son eşitlik σ dan $(\sigma+\varepsilon)-0$ ya integrallenirse,

$$\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0}[uL(v)-vL(u)]\,\mathrm{dt}$$
$$=(u'v-v'u)|_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0}$$
$$=[u'\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)v\ \big((\sigma+\varepsilon)-0\big)-v'\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)u\ \big((\sigma+\varepsilon)-0\big)]$$
$$-[u'(\sigma)v\ (\sigma)-v'(\sigma)u\ (\sigma)] \qquad (8)$$

eşitliği elde edilir. (7) eşitliği $(\sigma+\varepsilon)+0$ dan τ ye integrallenirse,

$$\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}[uL(v)-vL(u)]\,\mathrm{dt}$$
$$=(u'v-v'u)|_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}$$
$$=[u'(\tau)v\ (\tau)-v'(\tau)u\ (\tau)]$$
$$-[u'\big((\sigma+\varepsilon)+0\big)v\ \big((\sigma+\varepsilon)+0\big)-v'\big((\sigma+\varepsilon)+0\big)u\ \big((\sigma+\varepsilon)+0\big)]$$

bulunur. Son eşitlikte $x(\sigma)=x(\tau),\ x'(\sigma)=\ x'(\tau)$ periyodik sınır şartları ve

$$x\big((\sigma+\varepsilon)+0\big)=\alpha x\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)\,,\ x'\big((\sigma+\varepsilon)+0\big)=\ \beta x'\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)$$

geçiş şartları dikkate alınırsa,

$$\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}[uL(v)-vL(u)]\,\mathrm{dt}$$
$$=[u'(\sigma)v\ (\sigma)-v'(\sigma)u\ (\sigma)]$$
$$-[\alpha\beta u'\big((\sigma-\varepsilon)-0\big)v\ \big((\sigma-\varepsilon)-0\big)-\alpha\beta v'\big((\sigma-\varepsilon)-0\big)u\ \big((\sigma-\varepsilon)-0\big)] \qquad (9)$$

elde edilir. Teoremin ifadesinden $\alpha\beta\ =\ 1$ olduğu ve (8), (9) eşitlikleri dikkate alınırsa,

$$\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0}[uL(v)-vL(u)]\,\mathrm{dt}+\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}[uL(v)-vL(u)]\,\mathrm{dt}=0$$

sağlanır. O halde (1)-(5) eşitlikleri ile verilen periyodik sınır değer geçiş problemi kendine eşleniktir.

4. ÖZDEĞERLERİN REELLİĞİ VE ÖZFONKSİYONLARIN ORTOGONALLİĞİ

Teorem. $\alpha\beta = 1$ şartı altında (1)-(5) eşitlikleri ile verilen periyodik sınır değer geçiş probleminin özdeğerleri reeldir.

İspat. $\alpha\beta = 1$ şartı altında periyodik sınır değer geçiş probleminin ρ özdeğerine karşılık uygun özfonksiyonu x olsun. $\overline{x}$, x' nin ve , $\overline{\rho}$, ρ' nin eşleniği olmak üzere,

$$-\overline{x}'' + q(t)\overline{x} = \overline{\rho}\,\overline{x}, \qquad t \in [\sigma, \sigma+\varepsilon) \cup (\sigma+\varepsilon,\ \tau] \tag{10}$$

$$\overline{x}(\sigma) = \overline{x}(\tau) \tag{11}$$

$$\overline{x}'(\sigma) = \overline{x}'(\tau) \tag{12}$$

$$\overline{x}\big((\sigma+\varepsilon)+0\big) = \alpha\overline{x}\big((\sigma+\varepsilon)-0\big) \tag{13}$$

$$\overline{x}'\big((\sigma+\varepsilon)+0\big) = \beta\overline{x}'\big((\sigma+\varepsilon)-0\big) \tag{14}$$

yazılabilir. Burada (1) denklemi $\overline{x}$ ile (10) denklemi x ile çarpılırsa,

$$-x''\overline{x} + q(t)\,x\overline{x} = \rho\,x\overline{x}$$

$$-\overline{x}''x + q(t)\overline{x}x = \overline{\rho}\,\overline{x}x$$

elde edilir. Bu ifadeler taraf tarafa çıkarılırsa,

$$(\overline{x}'x - x'\overline{x})' = (\rho - \overline{\rho})x\overline{x} \tag{15}$$

eşitliği elde edilir. Bu son eşitliğin σ dan $(\sigma+\varepsilon)-0$ ya integrali alınırsa,

$$(\rho-\overline{\rho})\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0} x\overline{x}\,\mathrm{dt} = (\overline{x}'x - x'\overline{x})\big|_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0}$$

$$= \Big[\overline{x}\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)'x\,\big((\sigma+\varepsilon)-0\big) - x'\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)\overline{x}\,\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)\Big]$$

$$-[\overline{x}(\sigma)'x\,(\sigma) - x'(\sigma)\overline{x}\,(\sigma)] \tag{16}$$

eşitliği elde edilir. (15) eşitliğinin $(\sigma+\varepsilon)+0$ dan τ ye integrali alınırsa,

$$(\rho-\overline{\rho})\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau} x\overline{x}\,\mathrm{dt}$$

$$= (\overline{x}'x - x'\overline{x})\big|_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}$$

$$= [\overline{x}(\tau)'x\,(\tau) - x'(\tau)\overline{x}\,(\tau)]$$

$$-\big[\overline{x}'\big((\sigma+\varepsilon)+0\big)x\,\big((\sigma+\varepsilon)+0\big) - x'\big((\sigma+\varepsilon)+0\big)\overline{x}\,\big((\sigma+\varepsilon)+0\big)\big] \tag{17}$$

eşitliği elde edilir. $\alpha\beta = 1$ olmak üzere (2) -(5) ve (11)-(14) sınır geçiş şartları (16) denkleminde yerine yazılırsa,

$$(\rho-\overline{\rho})\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau} x\overline{x}\,dt=\overline{x}\,(\sigma)'x\,(\sigma)-x'(\sigma)\overline{x}\,(\sigma)-\alpha\beta\overline{x}'\,\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)x\,\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)$$

$$+\alpha\beta x'\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)\overline{x}\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)$$

$$=\overline{x}\,(\sigma)'x\,(\sigma)-x'^{(\sigma)\overline{x}}(\sigma)-\overline{x'}\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)\,x\,\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)$$

$$+x'\big((\sigma+\varepsilon)-0\big)\overline{x}\big((\sigma+\varepsilon)-0\big) \qquad (18)$$

eşitliği elde edilir. (17) ile (18) eşitlikleri taraf tarafa toplanırsa,

$$(\rho-\overline{\rho})\left[\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0} x\overline{x}\,\mathrm{dt}+\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau} x\overline{x}\,\mathrm{dt}\right]=0$$

Eşitliği yani

$$(\rho-\overline{\rho})\left[\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0}|x|^2\mathrm{dt}+\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}|x|^2\,\mathrm{dt}\right]=0$$

eşitliği elde edilir. $x\neq 0$ olduğu için $\rho=\overline{\rho}$ elde edilir.

Teorem. $\alpha\beta=1$ şartı altında (1)-(5) eşitlikleri ile verilen periyodik sınır değer geçiş probleminin farklı ρ_n ve ρ_m özdeğerlerine sırasıyla karşılık gelen $x_n(t)$ ve $x_m(t)$ özfonksiyonları $H=L_2[\sigma,\sigma+\varepsilon)\oplus L_2(\sigma+\varepsilon,\tau]$ ile tanımlı uzay da ortogonaldirler. Yani,

$$\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0} x_n(t)\;x_m(t)\,\mathrm{dt}+\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau} x_n(t)\;x_m(t)\,\mathrm{dt}=0$$

eşitliği sağlanır.

İspat: $L(x_n)=\rho_n\,x_n$

ve

$$L(x_m)=\rho_m\,x_m$$

eşitlikleri sırası ile x_n ve x_m ile çarpılırsa

$$x_m\,L(x_n)=\rho_n\,x_nx_m$$

ve

$$x_nL(x_m)=\rho_m\,x_nx_m$$

eşitlikleri elde edilir. Bu eşitlikleri taraf-tarafa çıkarırsak

$$x_m\,L(x_n)-x_nL(x_m)=(\rho_n-\rho_m\,)x_nx_m \qquad (19)$$

eşitliği elde edilir. Diğer taraftan (7) eşitliği gereği

$$x_m\,L(x_n)-x_nL(x_m)=(x_nx'_m-x'_nx_m)' \qquad (20)$$

eşitliğini elde ederiz. Bu eşitliğin her iki tarafını önce $[\sigma,\sigma+\varepsilon)$ sonra $(\sigma+\varepsilon,\tau]$ aralıklarında integralledikten sonra elde edilen eşitlikleri taraf tarafa toplarsak

$$\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0}\left(x_m\,L(x_n)-x_nL(x_m)\right)\mathrm{dt}+\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}\left(x_m\,L(x_n)-x_nL(x_m)\right)\mathrm{dt}=0$$

elde edilir. Şimdi (19) eşitliğinin her iki tarafını $[\sigma,\sigma+\varepsilon)$ ve $(\sigma+\varepsilon,\tau]$ aralıklarında integralledikten sonra taraf tarafa toplarsak

$$(\rho_n-\rho_m)\left[\int_{\sigma}^{(\sigma+\varepsilon)-0}x_nx_m\mathrm{dt}+\int_{(\sigma+\varepsilon)+0}^{\tau}x_nx_m\mathrm{dt}\right]=0$$

$\rho_n\neq\rho_m$ olduğu için sonuncu eşitlikten

$$\langle x_n,x_m\rangle_H=0$$

elde edilir. İspat bitti.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada süreksizlik içeren iki aralıklı bir periyodik Sturm-Liouville sınır-değer geçiş probleminin bazı özellikleri araştırılmıştır. Sturm-Liouville denklemi $[\sigma,\sigma+\varepsilon)$ ve $(\sigma+\varepsilon,\tau]$ şeklinde iki ayrı alt aralıkta tanımlanmıştır. Çalışılan problem sadece sınır şartlarını değil ayrıca $t=\sigma+\varepsilon$ süreksizlik noktasındaki geçiş şartlarını da içermektedir. $\alpha=\beta=1$ özel durumda klasik sonuçlar elde edilir. Ayrıca bazı klasik sonuçlar ve yöntemler genelleştirilerek yeni sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Al-Gwaiz, M.A., Sturm–Liouville Theory and Its Applications, Springer/Berlin, 2008.
2. Amrein, W.O., Hinz, A.M., Pearson, D.B., Sturm–Liouville Theory: Past and Present, Springer Science & Business Media/Germany, 2005.
3. Aydemir, K., Boundary Value Problems with Eigenvalue-Dependent Boundary and Transmission Conditions, Boundary Value Problems, 2014, 1, 131, 2014.
4. Chapman, S.J., MATLAB Programming with Applications for Engineers, Cengage Learning/United States, 2012.
5. Delattre, C., Winkin, J., Dochain, D., Sturm–Liouville Systems Are Riesz-Spectral Systems, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 13, 481–484, 2003.
6. Economou, E.N., Green's Functions in Quantum Physics, Springer/Berlin and Heidelberg, 2006.
7. Kong, Q., Zettl, A., Dependence of Eigenvalues of Sturm–Liouville Problems on the Boundary, Journal of Differential Equations, 126, 389–407, 1996.
8. Levitan, B.M., Sargsjan, I., Sturm–Liouville and Dirac Operators, Springer Netherlands/Mathematics and Its Applications Series, 1991.
9. Li, K., Sun, J., Hao, X., Eigenvalues of Regular Fourth Order Sturm–Liouville Problems with Transmission Conditions, Mathematical Methods in the Applied Sciences, 40, 3538–3551, 2017.
10. Marchenko, V.A., Sturm–Liouville Operators and Applications, AMS Chelsea Publishing/United Kingdom, 2011.
11. Meng, G., Zhang, M., Dependence of Solutions and Eigenvalues of Measure Differential Equations on Measures, Journal of Differential Equations, 254, 2196–2232, 2013.

12. Mukhtarov, O.S., Aydemir, K., Minimization Principle and Generalized Fourier Series for Discontinuous Sturm–Liouville Systems in Direct Sum Spaces, Journal of Applied Analysis and Computation, 8(5), 1511–1523, 2018.
13. Singh, S.N., The Determination of Eigenfunctions of a Certain Sturm–Liouville Equation and Its Application to Problems of Heat Transfer, Applied Scientific Research, Section A, 7, 237–250, 1958.
14. Zettl, A., Sturm–Liouville Theory, American Mathematical Society/Providence RI, 2005.
15. Zettl, A., Eigenvalues of Regular Self-Adjoint Sturm–Liouville Problems, Communications in Applied Analysis, 18, 365–400, 2014.
16. Zhang, M.Z., Li, K., Dependence of Eigenvalues of Sturm–Liouville Problems with Eigenparameter-Dependent Boundary Conditions, Applied Mathematics and Computation, 378, 125214, 2020.
17. Zhu, H., Shi, Y.M., Continuous Dependence of the n-th Eigenvalue of Self-Adjoint Discrete Sturm–Liouville Problems on the Problem, Journal of Differential Equations, 260, 5987–6016, 2016.

YÖNLÜ AĞIRLIKLI ÇİZGE DEĞERLİ ESNEK KÜMELER İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME UYGULAMALARI

Hülya ÇAKIR
Cumhuriyet Üniversitesi/Fen Fakültesi
hylprstsin@gmail.com – 0009-0006-2769-3013

Doç. Dr. Serkan ATMACA
Cumhuriyet Üniversitesi/Fen Fakültesi
seatmaca@cumhuriyet.edu.tr – 0000-0003-1276-9004

ÖZET

Bu çalışma, esnek küme teorisi ile çizge teorisini birleştirerek **Yönlü Ağırlıklı Çizge Değerli Esnek Kümeler (YAÇDES)** kavramını önermektedir. Klasik esnek küme çerçevesi, yönlü ve ağırlıklı çizge yapıları ile zenginleştirilmiş olup; karmaşık, ilişkisel ve belirsiz verilerin modellenmesi için daha esnek ve ifade gücü yüksek bir matematiksel araç sunmaktadır. İlk olarak, esnek kümeler ve çizge teorisinin temel tanımları hatırlatılmıştır. Ardından, YAÇDES yapısı biçimsel olarak tanımlanmış ve birleşim, kesişim, tümleyen, alt küme ve eşitlik gibi temel cebirsel işlemler sistematik bir şekilde geliştirilmiş ve örneklerle gösterilmiştir.

Önerilen kuramsal çerçeve, daha sonra eğitimin geleceğine ilişkin bir **çok kriterli karar verme (ÇKKV)** probleminin çözümüne uygulanmıştır. Öğrenci başarısı, bireyselleştirme, duygusal destek, maliyet ve uygulanabilirlik olmak üzere beş kriter temelinde üç alternatif: öğretmen, hibrit öğretim ve yapay zekâ değerlendirilmiştir. Saaty'nin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak anket verilerinden elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri, her bir kriter için yönlü ağırlıklı çizgelere dönüştürülmüştür. Bu çizgeler bir YAÇDES yapısında birleştirilmiş ve alternatifleri sıralamak için bir puanlama fonksiyonu uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Esnek Kümeler, Çizge Teori, Yönlü Ağırlıklı Çizgeler, Yönlü Ağırlıklı Çizge Değerli Esnek Kümeler, Çok Kriterli Karar Verme

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

BİR SÜREKSİZ STURM-LİOUVİLLE SINIR-DEĞER-GEÇİŞ PROBLEMİNİN ÖZDEĞERLERİNİN ALTTAN SINIRLILIĞI ÜZERİNE

Doç. Dr. HAYATİ OLĞAR

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, hayatiolgar@gmail.com - 0000-0003-4732-1605

Prof. Dr. OKTAY MUHTAROĞLU

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, omukhtarov@yahoo.com - 0000-0001-7480-6857

Prof. Dr. KADRİYE AYDEMİR

Amasya Üniversitesi, kadriyeaydemr@gmail.com - 0000-0002-8378-3949

ÖZET

Denkleminde ve sınır koşullarında spektral parametre ihtiva eden sınır değer problemleri operatörlerin salınım, spektral ve saçılma analizinin önemli bir bölümünü oluşturur. Bu tür problemlerin fiziksel, kimyasal ve diğer doğa bilimleri ile ilgili süreçlerle bağlantılı olarak ele alındığı çok sayıda kaynak bulunabilir. Sınır değer problemleri, uygulamalı bilimlerin farklı dallarında (fizik, biyokimya, mühendislik, ekonomi vb.) ortaya çıkan çeşitli problemlerin matematiksel modellenmesinde ortaya çıkmaktadır. İkinci mertebeden Sturm-Liouville denklemler ve özparametreye bağlı sınır koşullarından oluşan sınır değer problemlerinin spektral analizine yönelik literatürde birçok çalışma yapılmış ve hala yapılmaktadır. Öte yandan araştırmacılar birçok evrimsel süreçte dış faktörlerden dolayı bazı süreksizliklerle karşılaşmaktadır. Bu tür süreksizliklerin üstesinden gelmek için, sınır değer problemleriyle beraber iletim koşulları, impulsiv koşullar, sıçrama koşulları veya arayüz koşulları olarak da adlandırılan geçiş koşulları birlikte uygulanır. Bu tür süreçleri matematiksel olarak izah etmek ve çözmek için, sınır ve geçiş koşullarıyla birlikte verilmiş ikinci mertebeden Sturm-Liouville tipindeki diferansiyel denklemlerden oluşan sınır değer geçiş problemleri kullanılır. Teorik fizik, atom fiziği, radyolojik fizik, elektrik teknolojisi, matematiksel ekonomi, biyoteknoloji süreçleri, ekoloji, nüfus dinamikleri, endüstriyel robotik, kimya teknolojisi, uçakların seyir kontrolü, kontrol teorisi, mühendislik ve tıp gibi ani değişimlerin gözlemlenebileceği pek çok bilimsel olay bulunmaktadır. Uygulama alanlarının muazzam büyüklükte ve genişlikte olmasından dolayı sınır değer geçiş problemleri yaklaşık iki yüzyıldır ilgi çekmekte ve çekmeye de devam etmektedir. İşte bu çalışma yukarıda vermiş olduğumuz bilgilerin ışığında, hem Sturm-Liouville denkleminde hem de sınır koşullarında spektral parametre içeren ve ayrıca süreksizlik noktasında iletim koşullarının da bulunduğu çok aralıklı bir sınır değer problemini konu almaktadır. Ele alınan problemi çözmek için probleme uygun iç çarpım ve iç çarpım uzayı inşa edilecek daha sonra bu iç çarpım uzayının bir Hilbert uzayı olduğu gösterilecektir. Devamında sınır değer geçiş problemine uygun genelleştirilmiş çözüm kavramı tanımlanacaktır. Daha sonra bu çözüm yardımıyla incelenen problem operatör demeti denklemine indirgenecektir. Son olarak SDGP'nin özdeğerlerinin alttan sınırlı olduğu gösterilecektir.

Anahtar Kelimeler: Sınır değer geçiş problemi, özdeğer, alttan sınırlı

1. GİRİŞ

Sınır değer problemleri, uygulamalı bilimlerin farklı dallarında (fizik, biyokimya, mühendislik, ekonomi vb.) ortaya çıkan çeşitli problemlerin matematiksel modellenmesinde ortaya çıkmaktadır [11,17-19]. İkinci mertebeden Sturm-Liouville denklemler ve özparametreye bağlı sınır koşullarından oluşan sınır değer problemlerinin spektral analizine yönelik literatürde birçok çalışma yapılmış ve hala yapılmaktadır [5-7,10,20]. Son yıllarda hem matematik hem de fizik ve mühendislik uygulamaları açısından, ek iletim koşulları altındaki Sturm-Liouville özdeğer problemlerine olan ilgi önemli ölçüde artmıştır [1-4, 12]. Bilim ve mühendislikteki birçok önemli uygulama için özdeğerlerin yanı sıra karşılık gelen özfonksiyonların belirlenmesi gerekmektedir. Aslında, özdeğerler ve özfonksiyonların genel teorisi, matematiksel fiziğin en derin ve en zengin kısımlarından biridir. Özparametreye bağlı sınır koşullarına sahip Sturm-Liouville problemlerinin, operatör polinomları için spektral problemler olarak yorumlanabileceği iyi bilinmektedir. Operatör polinomları hakkındaki genel sonuçlar (baz özellikleri, özfonksiyon açılımı vs.) için [8,9,13-16] çalışmalarına bakılabilir.

2. PROBLEMİN İFADESİ, ÖNBİLGİLER VE GENELLEŞTİRİLMİŞ ÇÖZÜM KAVRAMI

Bu çalışmada;

$$-u_1''(x)+q_1(x)u_1(x)=\mu u_1(x),\ x\in[-1,-c) \tag{1}$$

$$-u_2''(x)+q_2(x)u_2(x)=\mu u_2(x),\ x\in(-c,c) \tag{2}$$

$$-u_3''(x)+q_3(x)u_3(x)=\mu u_3(x),\ x\in(c,1] \tag{3}$$

şeklinde tanımlı Sturm-Liouville denklemlerinden, $x=-1$ ve $x=1$ uç noktalarında verilmiş

$$u_1(-1)=u_1'(-1) \tag{4}$$

$$u_3(1)=u_3'(1) \tag{5}$$

sınır şartlarından ve $x=-c$ ve $x=c$ geçiş noktalarında verilmiş

$$u_2(-c^+)-u_1(-c^-)=0 \tag{6}$$

$$u_2'(-c^+)=u_1'(-c^-)+\gamma_1 u_1(-c^-)+\delta_1 u_2(-c^+) \tag{7}$$

$$u_3(c^+)-u_2(c^-)=0 \tag{8}$$

$$u_3'(c^+)=u_2'(c^-)+\gamma_2 u_3(c^+)+\delta_2 u_2(c^-) \tag{9}$$

geçiş şartlarından oluşan Sturm-Liouville tipindeki bir sınır değer geçiş probleminin bazı spektral özellikleri incelendi.

Burada λ kompleks spektral parametre; $q_1(x)$, $q_2(x)$ ve $q_3(x)$ fonksiyonları sırasıyla $\Omega_1:=[-1,-c), \Omega_2:=(-c,c)$, $\Omega_3:=(c,1]$ aralıkları üzerinde reel-değerli sürekli fonksiyonlar ve sonlu $q_1(-c^-)$, $q_2(-c^+)$, $q_2(c^-)$, $q_3(c^+)$ limit değerleri mevcuttur; $0\neq\gamma_i,\delta_i\in\mathbb{R}$ $(i=1,2)$.

Şimdi $(1)-(9)$ problemini incelemek için gerekli olan probleme uygun Hilbert uzaylarını ve notasyonlarını tanımlayacağız. $\Omega:=\bigcup_{i=1}^{3}\Omega_i$ aralığında karesi integrallenebilen kompleks değerli fonksiyonların uzayını $L_2(\Omega_1)\oplus L_2(\Omega_2)\oplus L_2(\Omega_3):=\mathrm{H}_0$ ile ve bu uzay üzerinde tanımlı iç çarpımı $\langle u,v\rangle_{\mathrm{H}_0}=\int_{\Omega_1}u_1(x)\overline{v_1(x)}dx+\int_{\Omega_2}u_2(x)\overline{v_2(x)}dx+\int_{\Omega_3}u_3(x)\overline{v_3(x)}dx$ eşitliği ile ve bu iç çarpıma karşılık gelen normu ise $\|u\|_{\mathrm{H}_0}=\sqrt{\langle u,u\rangle_{\mathrm{H}_0}}$ şeklinde tanımlayalım.

Teorem 1. Üzerinde iç çarpım tanımlanan H_0 lineer uzayı bir Hilbert uzayıdır.

H_0 Hilbert uzayının elemanlarından oluşan ve $(6)-(9)$ geçiş koşullarını sağlayan lineer uzay H_1 ile gösterilirse bu uzay üzerinde tanımlı iç çarpımı

$$\langle u,v\rangle_{\mathrm{H}_1}=\int_{\Omega_1}\left\{u_1'(x)\overline{v_1'(x)}+u_1(x)\overline{v_1(x)}\right\}dx+\int_{\Omega_2}\left\{u_2'(x)\overline{v_2'(x)}+u_2(x)\overline{v_2(x)}\right\}dx$$
$$+\int_{\Omega_3}\left\{u_3'(x)\overline{v_3'(x)}+u_3(x)\overline{v_3(x)}\right\}dx$$

ile ve bu iç çarpıma karşılık gelen normu ise $\|u\|_{\mathrm{H}_1}=\sqrt{\langle u,u\rangle_{\mathrm{H}_1}}$ eşitliği ile tanımlayalım.

Teorem 2. Üzerinde iç çarpım tanımlanan H_1 lineer uzayı bir Hilbert uzayıdır.

$\forall x\in\Omega$ için $q(x)$ fonksiyonu Ω üzerinde sınırlı olduğundan dolayı, bu takdirde $\forall u,v\in\mathrm{H}_1$,

$$\langle u,v\rangle_{\mathrm{H}_2}=\int_{\Omega_1}\left\{u_1'(x)\overline{v_1'(x)}+q_1(x)u_1(x)\overline{v_1(x)}\right\}dx+\int_{\Omega_2}\left\{u_2'(x)\overline{v_2'(x)}+q_2(x)u_2(x)\overline{v_2(x)}\right\}dx$$
$$+\int_{\Omega_3}\left\{u_3'(x)\overline{v_3'(x)}+q_3(x)u_3(x)\overline{v_3(x)}\right\}dx$$

eşitliği H_1 Hilbert uzayında yeni bir iç çarpım ve bu iç çarpıma karşılık $\|u\|_{\mathrm{H}_2}=\sqrt{\langle u,u\rangle_{\mathrm{H}_2}}$ normunu tanımlar. Dolayısıyla $\langle u,v\rangle_{\mathrm{H}_1}$ ve $\langle u,v\rangle_{\mathrm{H}_2}$ iç çarpımlarına karşılık gelen $\|u\|_{\mathrm{H}_1}$ ve $\|u\|_{\mathrm{H}_2}$ normlarının birbirine denk oldukları kolaylıkla görülür.

Takip eden yöntemle çalışmamız açısından çok elzem ve vazgeçilmez olan genelleştirilmiş çözüm kavramı inşa edilecektir. Keyfi $\eta\in\mathrm{H}_1$ kompleks fonksiyonunu alalım. $(1)-(3)$ Sturm-Liouville denklemlerinin her iki tarafı kompleks η fonksiyonunun eşleneği ile çarpılıp, $\Omega_i(i=1,2,3)$ aralıklarında integralleri alınırsa

$$\sum_{i=1}^{3}\int_{\Omega_i}\left\{u_i'(x)\overline{\eta_i'}(x)+q_i(x)u_i(x)\overline{\eta_i}(x)\right\}dx-u_3'(1)\overline{\eta_3}(1)+u_1'(-1)\overline{\eta_1}(-1)+u_2'(-c)\overline{\eta_2}(-c)$$
$$-u_1'(-c)\overline{\eta_1}(-c)+u_3'(c)\overline{\eta_3}(c)-u_2'(c)\overline{\eta_2}(c)=\mu\sum_{i=1}^{3}\int_{\Omega_i}u_i(x)\overline{\eta_i}(x)dx \qquad (10)$$

elde edilir. Daha sonra son ifadeye $(4)-(9)$ sınır-geçiş şartları uygulandıktan ve gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra

$$\langle u,\eta\rangle_{\mathrm{H}_2}+\left[\gamma_1u_1(-c)+\delta_1u_2(-c)\right]\overline{\eta_2}(-c)+\left[\gamma_2u_3(c)+\delta_2u_2(c)\right]\overline{\eta_3}(c)$$
$$-u_3(1)\overline{\eta_3}(1)+u_1(-1)\overline{\eta_1}(-1)=\mu\langle u,\eta\rangle_{\mathrm{H}_0} \qquad (11)$$

eşitliği bulunur. Böylece (10) eşitliği bütün terimleri H_1 uzayının elemanları olan (11) ile temsil edilen bağıntıya dönüşür. Şimdi H_1 Hilbert uzayında $(1)-(9)$ sınır-değer-geçiş problemimize uygun genelleştirilmiş çözümü tanımlayabiliriz.

Tanım 3. $u(x) \in H_1$ elemanı verilsin. Eğer (11) denklemi $\forall \eta(x) \in H_1$ için sağlanıyorsa $u(x) \in H_1$ elemanı $(1)-(9)$ sınır-değer-geçiş probleminin genelleştirilmiş çözümü olarak adlandırılır.

3. ESAS SONUÇLAR

Teorem 4.

$$-u_3(1)\overline{\eta_3}(1)+u_1(-1)\overline{\eta_1}(-1)+\left[\gamma_1 u_1(-c)+\delta_1 u_2(-c)\right]\overline{\eta_2}(-c)+\left[\gamma_2 u_3(c)+\delta_2 u_2(c)\right]\overline{\eta_3}(c)$$
$$:=\langle \tau_1 u,\eta\rangle_{H_2}$$

eşitliği ile tanımlı τ_1 operatörü H_1 Hilbert uzayında kendine eşlenik ve kompakt operatördür.

Teorem 5. $\sum_{i=1}^{3}\int_{\Omega_i} u_i(x)\overline{\eta_i}(x)dx := \langle \tau_2 u,\eta\rangle_{H_2}$

eşitliği ile tanımlı τ_2 operatörü H_1 Hilbert uzayında kendine eşlenik, pozitif ve kompakt operatördür.

Teorem 4. gereği τ_1 operatörü H_1 Hilbert uzayında kendine eşlenik ve kompakt operatör ve Teorem 5. gereği τ_2 operatörü H_1 Hilbert uzayında kendine eşlenik, pozitif ve kompakt operatör olduklarından dolayı (11) integral denklemi

$$\langle u,\eta\rangle_{H_2}+\langle \tau_1 u,\eta\rangle_{H_2}=\mu\langle \tau_2 u,\eta\rangle_{H_2}$$

eşitliğine indirgenmiş olur. Eğer $u(x)\in H_1$ fonksiyonu $(1)-(9)$ sınır değer geçiş probleminin genelleştirilmiş bir çözümü ise bu takdirde H_1 Hilbert uzayından alınan keyfi η değişkeni için son eşitlik,

$$u+T_1 u=\mu T_2 u$$

şeklinde temsil edilir. Neticede, $(1)-(9)$ sınır değer geçiş problemi

$$\tau(\mu)=I+\tau_1-\mu\tau_2$$

operatör-demet denklemi biçiminde tanımlanmış olur. Başka bir ifadeyle, $(1)-(9)$ problemi $\tau(\mu)u(x)=0$ operatör demeti denklemini sağlar. Sonuç itibariyle geçiş şartları içeren

$(1)-(9)$ Sturm-Liouville probleminin genelleştirilmiş özfonksiyonları, H_1 Hilbert uzayında $\tau(\mu)u(x)=0$ operatör demeti denklemini sağlar.

4. $(1)-(9)$ PROBLEMİNİN ÖZDEĞERLERİNİN ALTTAN SINIRLILIĞI

Rayleigh Prensibi'ni kullanarak aşağıdaki varyasyonel problemi elde ederiz.

Bu kısımda, geçiş şartları içeren klasik olmayan $(1)-(3)$ Sturm-Liouville probleminin özdeğerleri için alt sınır bulunacaktır.

μ_0 yeterince büyük pozitif bir reel sayı ve $\lambda,,\ \lambda=\mu+\mu_0$ eşitliğini sağlayacak şekilde yeni bir spektral parametre olsun. λ spektral parametresi $\tau(\mu)u(x)=0$ denkleminde dikkate alınırsa $(1)-(9)$ Sturm-Liouville özdeğer problemi

$$\tau(-\mu_0)u(x)-\lambda\tau_2 u(x)=0 \qquad (12)$$

operatör denklemi şeklinde yazılır. $\forall x\in\Omega$ için $u(x), H_1$ Hilbert uzayının sıfırdan farklı bir elemanı olmak üzere, (12) ile verilen denklem $u(x)$ fonksiyonu ile iç çarpıma tabi tutulur ve gerekli düzenlemeler yapılırsa; Rayleigh oranı olarak da adlandırılan takip eden eşitlik

$$\lambda=\frac{\langle\tau(-\mu_0)u(x),u(x)\rangle_{H_2}}{\langle\tau_2 u(x),u(x)\rangle_{H_1}}$$

elde edilir. Rayleigh oranı özdeğerler için bir alt sınır tahmini bulunmasına olanak sağlamaktadır. Rayleigh oranı olarak adlandırılan ifade daha açık biçimde yazılır ve gerekli düzenlemelr yapılırsa

$$\lambda=\frac{(\gamma_1+\delta_1)|u_2(-c)|^2+(\gamma_2+\delta_2)|u_3(c)|^2-|u_3(1)|^2+|u_1(1)|^2+\|u(x)\|^2_{H_2}+\mu_0\|u(x)\|^2_{H_0}}{\|u(x)\|^2_{H_0}}$$

$$\geq\frac{K\|u(x)\|^2_{H_2}+\mu_0\|u(x)\|^2_{H_0}}{\|u(x)\|^2_{H_0}} \qquad (13)$$

eşitsizliği elde edilir.

$$\int_\Omega q(x)|u(x)|^2\,dx\geq\min_{x\in\Omega}q(x)\int_\Omega|u(x)|^2\,dx=L\int_\Omega|u(x)|^2\,dx$$

eşitsizliği, (13) ifadesinde dikkate alınırsa

$$\lambda\geq\min(L+\mu_0,0)\quad\Rightarrow\quad\lambda_k\geq-\lambda_0+\min(L+\lambda_0,0)$$

elde edilir. Bu eşitsizlik bize geçiş şartları içeren $(1)-(9)$ Sturm-Liouville özdeğer probleminin özdeğerlerinin alttan sınırlı olduğunu gösterir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Adi diferensiyel denklemler için Sturm-Liouville sınır değer probleminin özdeğerlerinin ve özfonksiyonlarının bulunması ve özfonksiyonlarının hangi fonksiyon uzayında baz oluşturabildiği gibi özelliklerinin incelenmesi, özellikle de özdeğer parametresi içeren adi diferensiyel denklemler için Sturm-Liouville sınır değer probleminin özdeğerlerinin ve özfonksiyonlarının incelenmesinin çok büyük teorik ve pratik önemi vardır. Sınır-değer probleminin spektral analizi özdeğerlerinin bulunması ve özfonksiyonlarının hangi fonksiyon uzayında baz oluşturabildiği gibi özelliklerinin incelenmesinin yanısıra özdeğerlerinin alttan sınırlılığı, Green fonksiyonunun ve rezolvent operatörünün incelenmesini, ayrıca özdeğer ve özfonksiyonlarının asimptotik davranışının, özfonksiyonların ve özfonksiyonlara bağlanmış fonksiyonların tam olma ve baz oluşturma özelliklerinin araştırılmasını gerektirmektedir. İşte biz bu çalışmada, Rayleigh oranı yardımıyla incelen (1)-(9) SLÖP'ni çözmeden problemin özdeğerleri hakkında ilginç ve önemli sonuçlar elde edilebileceğini, hatta bu oranın hesaplanması sonucunda özdeğerlerin tahmininde oldukça yararlı olabileceğini ifade ettik

KAYNAKLAR

[1] Akcay, O., Uniqueness Theorems for Inverse Problems of Discontinuous Sturm–Liouville Operator, Bull. Malays. Math. Sci. Soc., 44, 1927–1940, 2021.

[2] Allahverdiev, B. P., Tuna, H., Conformable fractional Sturm–Liouville problems on time scales, Math Meth Appl Sci. 2021;1–16,b2021

[3] Amara, Zh. Ben and A. A. Shkalikov, A.A., The Sturm-Liouville problem with physical and spectral parameters in the boundary condition, Math. Notes 66, 127–134, 1999.

[4] Aydemir, K., Mukhtarov, O. Sh., Class of Sturm-Liouville problems with eigen-parameter dependent transmission conditions, Numerical Functional Analysis and Optimization , 38(10), 1260-1275, 2017.

[5] Belinskiy, B. P., Hiestand, J. W., Matthews, J. V., Piecewise Uniform Optimal Design of a Bar with An Attached Mass, Electronic Journal of Differential Equations, 2015(206), 1–17, 2015.

[6] Binding, P. A., Browne, P. J., Watson, B. A., Inverse spectral problems for Sturm-Liouville equations with eigenparameter dependent boundary conditions, *J. London Math. Soc.* 62 161-182, 2000.

[7]Fulton, C.T., Two point boundary value problems with eigenvalue parameter contained in the boundary conditions, Proc. Roy. Soc. Edinburg, 77A, 293-308, 1977.

[8]Gohberg, I.C., Krein, M.G., *Introduction to The Theory of Linear Non-Selfadjoint Operators*, Translation of Mathematical Monographs, vol. 18, Amer. Math. Soc., Providence, Rhode Island, 1969.

[9]Kerimov, N.B., Poladov, R.G., Basis properties of the system of eigenfunctions in the Sturm–Liouville problem with a spectral parameter in the boundary conditions, Doklady Math. 85(1), 8–13, 2012.

[10] Ladyzhenskaia, O. A., *The Boundary Value Problems Of Mathematical Physics*, Springer-Verlag, New York, 1985.

[11] Likov, A.V., Mikhailov, Yu.A., *The Theory Of Heat And Mass Transfer*, Qosenergaizdat (Russian), 1963.

[12] Mukhtarov, O.Sh., Olğar, H., Aydemir, K., Resolvent Operator and Spectrum of New Type Boundary Value Problems, Filomat, 29:7, 1671-1680, 2015.

[13] Olğar, H., Mukhtarov, O.Sh., Aydemir, K., Some properties of eigenvalues and generalized eigenvectors of one boundary value problem, Filomat, 32:3, 911-920, 2018.

[14] Olğar, H., Üç-Aralıklı Bir Süreksiz Sturm-Liouville Probleminin Zayıf Çözümleri, GBAD, 10(3), 165-173, 2021.

[15] Olğar, H., Mukhtarov, O.Sh., Aydemir, K., *Discreteness of the Spectrum and Riesz Basisity of the Weak Eigenfunctions for Many Interval Sturm-Liouville Problems*, Latin American Conference on Natural and Applied Sciences, 461-467, México, 2021.

[16] Sarsenbi, A.M., Tengaeva, A.A., On the basis properties of root functions of two generalized eigenvalue problems, ISSN 0012–2661. Differ. Equ. 48(2), 306–308, 2012.

[17] Stakgold, I., *Boudary Value Problems of Mathematical Physics, II*, Macmillan Co., New York, 1971.

[18] Tikhonov, A.N., Samarskii, A.A., *Equations Of Mathematical Physics*, Oxford and New York, Pergamon, 1963.

[19] Voitovich, N.N., Katsenelbaum, B.Z., Sivov, A.N., Generalized Method Of Eigen-Vibration In The Theory Of Diffraction, Nakua, Moskow (Russian), 1997.

[20] Yakubov, S.Y., Completeness of root functions of regular differential operators, Longman: Scientific and Technical, 1994.

ÇOK-ARALIKLI STURM-LİOUVİLLE TİPİNDE BİR SINIR-DEĞER-İLETİM PROBLEMİNİN GENELLEŞTİRİLMİŞ ÖZFONKSİYONLARI ÜZERİNE

Doç. Dr. HAYATİ OLĞAR

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, hayatiolgar@gmail.com - 0000-0003-4732-1605

Prof. Dr. KADRİYE AYDEMİR

Amasya Üniversitesi, kadriyeaydemr@gmail.com - 0000-0002-8378-3949

Prof. Dr. OKTAY MUHTAROĞLU

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, omukhtarov@yahoo.com - 0000-0001-7480-6857

ÖZET

Sturm-Liouville problemleri, yüzey etkilerine sahip katmanlı sistemlerdeki karmaşık etkileşimlerin modellenmesinin omurgasını oluşturur. Dalga yayılımı, ısı iletimi ve titreşim problemleri vs. gibi problemleri tanımlamak için matematiksel bir çerçeve sağlayarak, mühendislerin ve bilim insanlarının malzeme ve cihazların davranışlarını yüksek hassasiyetle tahmin etmelerini ve değiştirmelerini sağlar. Katılarda dalga hareketinin temel denklemleri, elastik deformasyon için Newton'un İkinci Yasası'ndan türetilen kısmi diferansiyel denklemler, elektrik alanları için Maxwell denklemleri vs. gibi diferansiyel denklemlerin uygun sınır koşullarıyla çözülmesi, genellikle yüzey akustik dalgalarının frekans ve dalga sayısı arasındaki ilişkisinin elde edildiği özdeğer problemlerine yol açar. Sturm-Liouville problemi, sınır koşulları olan ikinci mertebeden doğrusal adi diferansiyel denklemi içeren bir tür özdeğer problemidir. Teorinin kurucuları olarak bilinen Sturm ve Liouville'nin; bu teoriyi ilk olarak literatüre kazandırdıkları günden bugünümüze kadar geçen zaman diliminde fizikçiler, matematikçiler ve mühendisler arasında fizikteki uygulamaları nedeniyle büyük bir etki yaratmış ve önemli ölçüde gelişmiş ve hala gelişmeye devam etmektedir. Özdeğer parametresine bağlı sınır koşulları olan Sturm-Liouville özdeğer problemlerine (SLÖP'lerine) olan ilgide özellikle son yıllarda ciddi anlamda bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Sınır koşullarında spektral parametreyi doğrusal veya doğrusal olmayan bir şekilde içeren SLP'leri; titreşen sicim problemleri, tümör büyüme problemi, kimyasal reaktör teorisi, yanma, nükleer mühendislik, kontrol teorisi ve fizyoloji gibi uygulamalı bilimler, matematik ve mühendisliğin birçok alanında ortaya çıkar ve bu alanlarda oldukça yaygındır. Bu çalışmada iletim koşullarına sahip bir SLÖP'nin genelleştirilmiş özfonksiyonlar kavramı tanımlanacak ve daha sonra ele alınan problemi operatör denklemine indirgeyerek bu operatörlerin kompaktlık, kendine eşleniklik, pozitif tanımlılık gibi özellikleri araştırılacaktır. Son olarak incelenen SLÖP'nin genelleştirilmiş özfonksiyonlarının Riesz bazı oluşturduğu araştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sturm-Liouville problemleri, özdeğer, zayıf özfonksiyon, Riesz bazı.

1. GİRİŞ

Denklemlerde ve sınır koşullarında spektral parametre içeren ve sınır koşulları spektral parametreye doğrusal veya doğrusal olmayan şekilde bağlı olan Sturm-Liouville tipinde sınır değer problemleri spektral analizinin önemli bir bölümünü oluşturmakta olup bu türden problemlere olan ilgide özellikle son zamanlarda önemli oranda bir artış gözlemlenmiştir. Sınır koşullarında spektral parametreyi lineer veya lineer olmayan bir şekilde içeren Sturm-Liouville problemleri; titreşen sicim problemleri, tümör büyüme problemi, kimyasal reaktör teorisi, yanma, akışkanlar dinamiği, elastikiyet, biyobilim, nükleer mühendislik, kontrol teorisi ve fizyoloji gibi uygulamalı bilimler, matematik ve mühendisliğin birçok alanında ortaya çıkar ve bu alanlarda oldukça yaygındır [1-8]. İletim koşullarına sahip diferansiyel operatörler için spektral özellikleri bulmak, klasik Sturm-Liouville tipinde sınır değer problemlerine kıyasla hem daha zordur hem de bu yönde biraz daha sınırlı sayıda kaynak bulunmaktadır [9-13]. Sınır koşullarında spektral parametreye sahip Sturm-Liouville tipinde sınır değer problemlerinin bir operatör denkleme indirgenmesi, bu sınır değer problemlerinin özfonksiyonlarının çeşitli fonksiyon uzaylarındaki baz özellikleri ve özfonksiyon açılımları [14-19]'da ele alınmıştır. Bu çalışmada ise ayrık [-1,0) ve (0,1] aralıkları üzerinde

$$-f_1''(x,\lambda)+q_1(x)\,f_1(x,\lambda)=\lambda f_1(x,\lambda)\ ,\ -1<x<0, \tag{1}$$

$$-f_2''(x,\lambda)+q_2(x)\,f_2(x,\lambda)=\lambda f_2(x,\lambda)\ ,\ 0<x<1, \tag{2}$$

biçiminde verilmiş Sturm-Liouville denklemlerinden, $x=-1$ ve $x=1$ uç noktalarındaki

$$\cos\alpha\ f_1(-1,\lambda)+\ \sin\alpha\ f_1'(-1,\lambda)=0 \tag{3}$$

$$\cos\beta\ f_2(1,\lambda)+\ \sin\beta\ f_2'(1,\lambda)\ \ =0 \tag{4}$$

sınır koşullarından ve $x=0$ süreksizlik noktasındaki

$$f_1(-0,\lambda)\ -f_2(+0,\lambda)=0 \tag{5}$$

$$f_1'(-0,\lambda)-\ f_2'(+0,\lambda)=a_1 f_1(-0,\lambda)\ +a_2 f_2(+0,\lambda) \tag{6}$$

iletim koşullarından oluşan Sturm-Liouville özdeğer probleminin bazı spektral özelliklerini araştıracağız. Burada λ kompleks spektral parametre, $q_1(x)$ ve $q_2(x)$ fonksiyonları sırasıyla $\square_1:=[-1,0]$ ve $\square_2:=[0,1]$ aralıkları üzerinde reel-değerli sürekli fonksiyonlar ve $q_i(x)>0$ $(i=1,2)$, a_1, a_2 reel değerli katsayılardır, $\alpha\in[0,2\pi)$. İlk olarak iletim koşullarına sahip $(1)-(6)$ SLÖP'nin genelleştirilmiş özfonksiyonlar kavramı tanımlanacak ve daha sonra ele alınan problemi operatör denklemine indirgeyerek bu operatörlerin kompaktlık, kendine eşleniklik, pozitif tanımlılık gibi özellikleri araştırılacaktır. Son olarak incelenen SLÖP'nin genelleştirilmiş özfonksiyonlarının Riesz bazı oluşturduğu gösterilecektir.

2. (1)-(6) SLÖP İÇİN GENELLEŞMİŞ ÖZFONKSİYON KAVRAMI

Şimdi (1)-(6) SLÖP'nin operatör denkleme indirgenebilmesi için bazı yeni Hilbert uzayları tanımlanacak ve bu problemin incelenebilmesi için gerekli olan bazı eşitsizlikler verilecektir. $L_2(-1,0)\oplus L_2(0,1):=\oplus L_2$ Hilbert uzayında tanımlı $f,g\in\oplus L_2$ elemanlarının iç çarpımı ve bu iç çarpıma karşılık gelen normu sırasıyla

$$\langle f,g\rangle_{\oplus L_2}=\sum_{i=1}^{2}\int_{\Omega_i} f_i(x)\overline{g_i}(x)dx \text{ ve } \|f\|^2_{\oplus L_2}=\langle f,f\rangle_{\oplus L_2}$$

şeklinde tanımlı olsun. $W_2^1(-1,0)\oplus W_2^1(0,1):=\oplus W_2^1$ Hilbert uzayında tanımlı $f,g\in\oplus W_2^1$ elemanlarının iç çarpımları

$$\langle f,g\rangle_{\oplus W_2^1}=\langle f,g\rangle_{\oplus L_2}+\langle f',g'\rangle_{\oplus L_2},\ \langle f,g\rangle_{\oplus W_{2,q}^1}=\langle f,qg\rangle_{\oplus L_2}+\langle f',g'\rangle_{\oplus L_2}$$

ve bu iç çarpımlara karşılık gelen normlar sırasıyla

$$\|f\|^2_{\oplus W_2^1}=\langle f,f\rangle_{\oplus W_2^1},\ \|f\|^2_{\oplus W_{2,q}^1}=\langle f,f\rangle_{\oplus W_{2,q}^1}$$

eşitlikleri ile tanımlı olsun. $q_i(x)(i=1,2)$ fonksiyonları sıfırdan büyük olduğundan $\|f\|^2_{\oplus W_2^1}$ ve $\|f\|^2_{\oplus W_{2,q}^1}$ normları birbirine denktir.

Teorem 1. $\oplus L_2$ ve $\oplus W_2^1$ iç çarpım uzayları birer Hilbert uzayıdır.

(1)-(6) SLÖP'ne özgü Hilbert uzaylarının kurulma aşaması tamamlanmıştır. $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayındaki fonksiyonların $\Omega_1\cup\Omega_2$ aralığı üzerinde sürekli fonksiyonlar oldukları fakat, bu fonksiyonların genelleşmiş türevlerinin sadece $\oplus L_2$ Hilbert uzayının elemanları olduğu kabul edilir. Genelleşmiş özfonksiyon kavramı bu çalışmanın özünü oluşturmaktadır. Şimdi (1)-(6) probleminin genelleşmiş özfonksiyon kavramının tanımı verilecektir.

Tanım 2. $f(x)\in\oplus W_2^1$ elemanı verilsin.

$$\langle f,\kappa\rangle_{\oplus W_{2,q}^1}-\cot\alpha\, f_1(-1)\overline{\kappa_1}(-1)+\cot\beta\, f_2(1)\overline{\kappa_2}(1)+a_1 f_1(-0)\overline{\kappa_2}(+0)+a_2 f_2(+0)\overline{\kappa_2}(+0)=\lambda\langle f,\kappa\rangle_{\oplus L_2}$$

denklemi her $\kappa\in\oplus W_2^1$ için sağlanıyorsa $f(x)$ fonksiyonu $(1)-(6)$ SLÖP'nin genelleşmiş özfonksiyonu olarak adlandırılır.

3. (1)-(6) SLÖP'NİN OPERATÖR DENKLEME İNDİRGENMESİ VE ESAS SONUÇLAR

$\ell_1(f,\kappa)$ ve $\ell_2(f,\kappa)$ temsillerinden yararlanmak suretiyle Tanım 2 de verilen integral denklemi

$$\ell_1(f,\kappa):=-\cot\alpha\, f_1(-1)\overline{\kappa_1}(-1)+\cot\beta\, f_2(1)\overline{\kappa_2}(1)+a_1 f_1(-0)\overline{\kappa_2}(+0)+a_2 f_2(+0)\overline{\kappa_2}(+0) \quad (7)$$

$$\ell_2(f,\kappa):=\langle f,\kappa\rangle_{\oplus L_2(\Omega)} \quad (8)$$

fonksiyonelleri şeklinde yazılır ve bu $\ell_i(f,\kappa)(i=1,2)$ fonksiyonelleri; verilen her bir $f(x)\in\oplus W_2^1$ için $\kappa\in\oplus W_2^1$ değişkenine göre lineerdir.

Teorem 3. Her $f(x) \in \oplus W_2^1$ fonksiyonu için $\ell_i(f,\kappa)(i=1,2)$ fonksiyonelleri $\oplus W_2^1$ uzayında süreklidir.

Riesz temsil teoreminden yararlanmak suretiyle $\ell_i(f,\kappa) := \langle L_i f, \kappa \rangle_{\oplus W_{2,q}^1}$ $(i=1,2)$ eşitliğini sağlayacak şekilde $L_i : \oplus W_2^1 \to \oplus W_2^1$ $(i=1,2)$ operatörlerini tanımlayabiliriz.

Teorem 4. $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayından $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayına tanımlı $L_i\,(i=1,2)$ operatörleri kendine eşlenik, pozitif ve kompakt operatörlerdir.

Teorem 5. $\ell_2(f,\kappa) := \langle L_2 f, \kappa \rangle_{\oplus W_{2,q}^1(\Omega)}$ eşitliği ile tanımlı L_2 operatörü $\oplus W_2^1(\Omega)$ Hilbert uzayında kendine eşlenik, pozitif ve kompakt operatördür.

$\oplus W_2^1(\Omega)$ Hilbert uzayında sırasıyla

$$\mathrm{P}(f) = f + L_1 f \qquad , \qquad \mathrm{T}(\lambda)\,\mathrm{f} = \mathrm{P}(\mathrm{f}) - \lambda L_2 f$$

kuralları ile P operatörünü ve $\mathrm{T}(\lambda)$ operatör-demetini tanımlayalım.

Sonuç 6. Her $\lambda_0 \in \square$ için $\mathrm{T}(-\lambda_0)\,\mathrm{f} = \mathrm{P}(\mathrm{f}) + \lambda_0 L_2 f$ operatörü $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayında kendine eşlenik ve kompakt operatördür.

λ_0 ın yeterince büyük pozitif değerleri için $\mathrm{T}(-\lambda_0)$ operatör-polinomu $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayında pozitif tanımlı, kompakt ve kendine eşlenik olduğundan $\mathrm{T}(-\lambda_0)$ operatörünün $\sqrt{\mathrm{T}(-\lambda_0)}$ olacak şekilde pozitif karekökü vardır. Dolayısıyla $\sqrt{\mathrm{T}(-\lambda_0)}$ operatörü terslenebilirdir. İşte bu yüzden $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayında

$$\chi(\lambda_0) = \left(\mathrm{T}(-\lambda_0)\right)^{-\frac{1}{2}} L_2 \left(\mathrm{T}(-\lambda_0)\right)^{-\frac{1}{2}}$$

şeklinde tanımlı yeni bir $\chi(\lambda_0)$ operatörü göz önünde bulundurulacaktır.

Teorem 7. $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayından $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayına tanımlı $\chi(\lambda_0)$ operatörü pozitif, kendine-eşlenik ve kompakt operatördür.

Teorem 8. $(1)-(6)$ Sturm-Liouville özdeğer probleminin genelleşmiş özfonksiyonlar sistemi $\oplus W_2^1$ Hilbert uzayında Riesz bazı oluşturur.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; parametreye bağlı ikinci mertebeden diferensiyel denklemden, iki sınır şartından ve süreksizlik noktasında iletim şartlarıyla birlikte verilmiş (1)-(6) SLÖP'nin bazı spektral özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın klasik Sturm-Liouville teorisinde yapılan diğer çalışmalardan farklı kılan en önemli tarafı özfonksiyon kavramının genelleştirilmesi (genelleştirilmiş özfonksiyonlar daha geniş sınftan alınır) ve de iletim şartları ile verilmiş bir

Sturm-Liouville özdeğer probleminin genelleştirilmiş özfonksiyonlarının tamlık özelliklerinin incelenmesidir. (1)-(6) Sturm-Liouville özdeğer problemimizin araştırılan bu özelliği bizim çalışmaya has bir özelliktir.

KAYNAKÇA

[1] Binding, P., Browne, P.J., Watson, B.A., Sturm-Liouville problems with boundary conditions rationally dependent on the eigenparameter I, Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society 45 (3), 631–645, 2002.

[2] Fulton, C.T., Two-point boundary value problems with eigenvalue parameter contained in the boundary conditions, Proc. R. Soc. Edinburgh, A77, 293-308, 1977.

[3] Hinton, D.B., An expansion theorem for an eigenvalue problem with eigenvalue parameter in the boundary condition. The Quarterly Journal of Mathematics, 30 (1), 33–42,1979.

[4] Walter, J., Regular Eigenvalue Problems with Eigenvalue Parameter in the Boundary Conditions. *Math. Z.*, 133, 301-312, 1973

[5] Tikhonov, A. N., Samarskii, A. A., *Equations of Mathematical Physics*, Oxford and New York, Pergamon, 1963.

[6] Kawano, A., Morassi, A., Zaera, R., Detecting a prey in a spider orb-web from in-plane vibration, SIAM Journal on Applied Mathematics 81 (6) (2021) 2297–2322.

[7] Parra-Rodriguez, A., Rico, E., Solano, E., Egusquiza, I. L., Quantum networks in divergence-free circuit QED, Quantum Science and Technology 3 (2), 024012, 2018.

[8] Celik, E., Tunc, H., Sari, M., An efficient multi-derivative numerical method for chemical boundary value problems, Journal of Mathematical Chemistry 62, 634–653, 2024.

[9] Allahverdiev, B. P., Tuna, H., On the resolvent of singular Sturm-Liouville operators with transmission conditions, Mathematical Methods in the Applied Sciences 43, 4286‑4302, 2020.

[10] Aydemir, K., Mukhtarov, O.Sh., A new type Sturm-Liouville problem with an abstract linear operator contained in the equation, Quaestiones Mathematicae, 45 (12), 1931‑1948, 2022.

[11] Bairamov, E., Tas, K., Uğurlu, E., On the characteristic functions and Dirichlet-integrable solutions of singular left-definite Hamiltonian systems, Quaestiones Mathematicae, 47 (5), 983‑995, 2024.

[12] Mukhtarov, O.Sh., Yücel, M., Aydemir, K., A new generalization of the differential transform method for solving boundary value problems, Journal of New Results in Science, 10 (2), 49‑58, 2021.

[13] Oznur, G.B., Aygar, Y., Aral, N.D., An examination of boundary value transmission problem with quadratic spectral parameter, Quaestiones Mathematicae 46 (5), 871‑885, 2023.

[14] Belinskiy, B.P., Dauer, J.P., Eigenoscillations of mechanical systems with boundary conditions containing the frequency, Quarterly of Applied Mathematics 56, 521‑541, 1998.

[15] Gohberg, I. C., Krein, M. G., *Introduction to The Theory of Linear Non-Selfadjoint Operators*, Translation of Mathematical Monographs, vol. 18, Amer. Math. Soc., Providence, Rhode Island, 1969.

[16] Ladyzhenskaia, O. A., *The Boundary Value Problems of Mathematical Physics*, Springer-Verlag, New York, 1985.

[17] Olğar, H., Selfadjointness and Positiveness of the Differential Operators Generated by New Type Sturm-Liouville Problems, Cumhuriyet Sci. J., 40 (1), 24-34, 2019.

[18] Olğar, H., Sıçrama Şartlarına Sahip Çok-Aralıklı Bir Süreksiz Sınır Değer Probleminin Operatör-Demeti Yöntemi ile İncelenmesi üzerine, GBAD, 10(3), 209-216, 2021.

[19] Olğar, H., *Operator-Polynomial Treatment of a Discontinuous Sturm-Liouville Problem*, Latin American Conference on Natural and Applied Sciences, 455-460, México, 2021.

REICH TYPE CONTRACTION IN CONTROLLED ULTRAMETRIC-TYPE SPACES

Tuğçe YOĞUNALİ
Ondokuz Mayıs University
tugce.yoqunali@gmail.com - 0009-0005-9002-910X

Asst. Prof. Elif KAPLAN
Ondokuz Mayıs University
elifaydin@omu.edu.tr - 0000-0002-7620-3387

ABSTRACT

In this paper, we prove a new fixed point theorem in the context of controlled ultrametric-type spaces for Reich-type contractive mappings. By adding a control function that eases the strict non-Archimedean inequality while maintaining the space's hierarchical structure, controlled ultrametric spaces are a logical extension of classical ultrametric spaces. This framework makes it possible to study a larger class of mappings in fixed point theory. Also, we establish the existence and uniqueness of fixed points for self-mappings defined on complete controlled ultrametric spaces by introducing a suitable Reich-type contraction condition adapted to the controlled ultrametric structure. The strong convergence properties induced by the ultrametric-type inequality together with the control function are applied in the proof, which is based on the construction of a Picard iterative sequence.

Keywords: Ultrametric space, controlled ultrametric space, fixed point, Reich-type contraction

1. INTRODUCTION AND PRELIMINARIES

Fixed point theory has attracted increasing interest in recent years owing to its extensive range of applications in diverse scientific and engineering fields, including differential equations, integral equations, and optimization-related problems. Since its early development in the late nineteenth century, the theory has played a crucial role in addressing mathematically challenging problems and modeling various phenomena arising in real-world contexts. As the concept of distance has been progressively generalized beyond classical metric spaces, the applicability of fixed point methods has expanded accordingly.

Motivated by both theoretical considerations and practical applications, numerous extensions of the classical metric framework have been introduced, including fuzzy metric spaces [1], partial metric spaces [2], G-metric spaces [3], modular metric spaces [4], and controlled

metric-type spaces [5]. These generalized settings allow the relaxation of traditional axioms—most notably the triangle inequality—while preserving sufficient structure to ensure convergence of iterative processes. Consequently, fixed point techniques have become applicable to a wider spectrum of nonlinear problems.

Characterized by a strong form of the triangle inequality, ultrametric spaces exhibit a hierarchical geometry in which every triangle is either equilateral or isosceles with equal longer sides. This non-Archimedean nature leads to remarkable analytical properties, such as strong convergence of sequences and simplified fixed point arguments. Ultrametric structures naturally arise in several scientific disciplines, including p-adic analysis, biology, physics, and data clustering, where hierarchical relationships play a dominant role.

On the other hand, controlled metric-type spaces have recently emerged as a flexible generalization of classical metric spaces. By incorporating a control function into the distance axioms, these spaces provide a unifying framework that encompasses many known metric-type structures as special cases. The controlled approach allows finer control over the behavior of distances and offers new possibilities for defining contractive conditions that are not accessible in the standard metric setting.

Another fundamental aspect of fixed point theory is the study of contractive mappings. Beyond the classical Banach contraction principle, various generalizations—such as Kannan, Chatterjea, Reich, and Ćirić type contractions—have been introduced to weaken strict Lipschitz-type conditions while still ensuring the existence of fixed points. Among these, Reich-type contractions are particularly noteworthy, as they unify and extend several well-known contraction schemes by involving combinations of distances between points and their images. This makes Reich-type conditions especially suitable for generalized metric frameworks.

Motivated by these developments, the aim of the present paper is to investigate fixed point results for Reich-type contractive mappings in the setting of controlled ultrametric spaces. By combining the hierarchical structure of ultrametric spaces with the flexibility provided by control functions, we establish a new fixed point theorem guaranteeing the existence and uniqueness of fixed points for self-mappings defined on complete controlled ultrametric spaces. The obtained results not only generalize classical fixed point theorems in ultrametric and metric spaces but also contribute to the growing literature on fixed point theory in controlled and non-Archimedean-type settings.

In the following section, we have provided the necessary background information.

Definition 1.1. Considering a nonempty set X and a function $u: X \times X \to [0,\infty)$ satisfies the following conditions for each $x, y, z \in X$,

$U1)$ $\mathrm{u}(x,y) \geq 0,$

$U2)$ $\mathrm{u}(x,y) = 0 \Leftrightarrow x = y,$

$U3)$ $\mathrm{u}(x,y) = u(y,x),$

$U4)$ $\mathrm{u}(x,y) \leq \max\{u(x,z), u(z,y)\}.$

An ultrametric space is denoted by (X,u), and u is referred to as an ultrametric space on X.

Example 1.2. [6] Let $X=[0,\infty)$. Define $u : X\times X\to[0,\infty)$ by

$$u(x,y)=\begin{cases}\max\{x,y\}, & x\neq y\\ 0, & x=y\end{cases}$$

for each $x,y\in X$. Then, (X,u) is an ultrametric space.

Example 1.3. [7] Let $X=\mathrm{N}$ and define a distance u on X with

$$u(x,y)=\begin{cases}0, & \text{if } x=y\\ \frac{1}{y}, & \text{if } y\geq 1 \text{ and } x=0\\ \frac{1}{x}, & \text{if } x\geq 1 \text{ and } y=0\\ \max\left\{\frac{1}{x},\frac{1}{y}\right\} & \text{otherwise.}\end{cases}$$

Then, (X,u) is an ultrametric space.

Example 1.4. [8] Let X be the collection of all sequences of non-negative integers. For $x=\{x_i\}_{i=1}^{\infty}$, $y=\{y_i\}_{i=1}^{\infty}\in X$, define

$$k(x,y)=\inf\{i\in\mathrm{N}:\ x_i\neq y_i\}$$

and

$$u(x,y)=\begin{cases}0, & \text{if } x=y\\ \frac{1}{k(x,y)}, & \text{if } x\neq y.\end{cases}$$

Then, (X,u) is a complete ultrametric space.

Remark 1.5. [9] While every ultrametric space is a metric space, this is not necessarily the case in reverse. To illustrate, metric d defined on R by $d(x,y)=|x-y|$ so-called usual metric space is not an ultrametric space.

The concept of a controlled metric space was initially put forward by Mlaiki et al. in [5].

Definition 1.6. [5] Given a nonempty set X and $\alpha : X\times X\to[1,\infty)$. If the function $d_c : X\times X\to[0,\infty)$ satisfies the following conditions for each $x,y,z\in X$,

$C1)$ $d_c(x,y)=0\Leftrightarrow x=y$,

$C2)$ $d_c(x,y)=d_c(y,x)$,

$C3)$ $d_c(x,y)\leq\alpha(x,z)d_c(x,z)+\alpha(z,y)d_c(z,y)$,

then the pair (X,d_c) is called a controlled metric type space.

The concept of controlled ultrametric type space used in this work is based on the definition first proposed in the first author's master's thesis and further developed in their submitted manuscript.

Definition 1.7. [10] Let $X \neq \varnothing$ and $\alpha : X \times X \to [1,\infty)$. If the function $d : X \times X \to [0,\infty)$ satisfies the following conditions for each $x, y, z \in X$,

$CU1)$ $d(x,y) \geq 0$,

$CU2)$ $d(x,y) = 0 \Leftrightarrow x = y$,

$CU3)$ $d(x,y) = d(y,x)$,

$CU4)$ $d(x,y) \leq \max\{\alpha(x,z)d(x,z), \alpha(z,y)d(z,y)\}$

then it is called a controlled ultrametric space.

In a controlled ultrametric space, the $(CU4)$ inequality is further generalised by means of a control function. This function provides additional insights into the structure of the metric space and allows the derivation of various forms of controlled ultrametric spaces.

Remark 1.8. [10] If, for all x, y in X , $\alpha(x,y) = 1$, then (X,d) is an ultrametric space, which leads us to conclude that each ultrametric space is a controlled ultrametric space. However, the converse is not necessarily true. The subsequent example demonstrates the observation by providing a controlled ultrametric space that is not an ultrametric space.

Example 1.9. [10] Let $X = \{0,1,2\}$. Define $d : X \times X \to [0,\infty)$ by

$$d(0,0) = d(1,1) = d(2,2) = 0$$
$$d(0,1) = d(1,0) = 1$$
$$d(0,2) = d(2,0) = \frac{1}{2}$$
$$d(1,2) = d(2,1) = \frac{2}{5}.$$

Also, let the function $\alpha : X \times X \to [1,\infty)$ is symmetric and define as follows:

$$\alpha(0,0) = \alpha(1,1) = \alpha(2,2) = \alpha(0,2) = 1$$
$$\alpha(1,2) = \frac{25}{4} \text{ and } \alpha(0,1) = \frac{11}{10}.$$

In this case, (X,d) is a controlled ultrametric space. However, it is not an ultrametric space. Really,

$$d(0,1) \geq \max\{d(0,2), d(2,1)\}.$$

Example 1.10. [10] Let N be the set of all positive integers, and d be a controlled ultrametric on N defined by

$$d(x,y) = \begin{cases} 0, & \text{if } x = y \\ \max\left\{1+\frac{1}{x}, 1+\frac{1}{y}\right\}, & \text{if } x \neq y \end{cases}$$

with the $\alpha : \mathrm{N} \times \mathrm{N} \to [1,\infty)$, $\alpha(x,y) = xy$.

Definition 1.11. [10] Let (X,d) be a controlled ultrametric space, the definitions are as follows:

i. A sequence $\{x_n\}_{n\in\mathrm{N}}$ converges to x if for every $\varepsilon>0$, there exists an N such that for all $n\geq N$, the distance $d(x_n,x)<\varepsilon$.

ii. A sequence $\{x_n\}_{n\in\mathrm{N}}$ is Cauchy if for every $\varepsilon>0$, there exists an N such that for all $m,n\geq N$, the distance $d(x_m,x_n)<\varepsilon$.

iii. The space is complete if every Cauchy sequence in the space converges to a point in the space.

2. MAIN RESULTS

In generalized distance spaces, classical Banach-type contractions may be too restrictive to capture the behavior of nonlinear mappings. To overcome this limitation, several weakened contractive conditions have been proposed, among which Reich-type contractions play a central role. Reich-type inequalities are of particular interest since they unify Banach, Kannan, and Chatterjea contractions as special cases under suitable choices of parameters. This unifying feature makes them well suited for controlled ultrametric spaces, where both the strong ultrametric structure and the presence of a control function call for flexible yet effective contraction conditions. Motivated by this observation, we introduce a Reich-type inequality adapted to controlled ultrametric spaces, which forms the basis of the fixed point results established in this work.

Definition 2.1. Let (X,d) be a controlled ultrametric-type space with control function $\theta: X\times X\to[1,\infty)$. A mapping $\mathrm{T}:\mathrm{X}\to\mathrm{X}$ is said to satisfy a Reich-type contraction if there exist nonnegative constants $\alpha,\beta,\gamma\in(0,1)$ with $\alpha+\beta+\gamma<1$ such that

$$d(Tx,Ty)\leq\alpha d(x,y)+\beta d(x,Tx)+\gamma d(y,Ty) \tag{0.1}$$

for all $\mathrm{x},\mathrm{y}\in\mathrm{X}$.

Remark 2.2. The Reich-type contraction considered in this paper generalizes the Banach and Kannan contraction principles given in reference [10] as special cases under suitable choices of parameters.

In particular;

- if $\beta=\gamma=0$, the inequality reduces to the classical Banach contraction,
- if $\alpha=0$ and $\beta=\gamma$, it coincides with a Kannan-type contraction.

Theorem 2.3. Let (X,d) be a complete controlled ultrametric-type space with $\theta:X\times X\to[1,\infty)$ and T be a self-mapping satisfying Reich-type contraction condition. Let $r=\dfrac{\alpha+\beta}{1-\gamma}<1$ for all $x,y\in X$. For $x_0\in X$, choose $x_n=T^nx_0$. Assume that

$$\sup_{m\geq1}\lim_{i\to\infty}\frac{\theta(x_{i+1},x_{i+2})}{\theta(x_i,x_{i+1})}\theta(x_{i+1},x_m)<\frac{1}{r} \tag{0.2}$$

$$\lim_{n\to\infty}\theta(x_n,x)<\infty \text{ and } \lim_{n\to\infty}\theta(x,x_n)<\frac{1}{\gamma}. \tag{0.3}$$

Then T has a unique fixed point.

Proof: Let $x_0 \in X$. Consider the sequence $\{x_n\}$ with $x_{n+1} = Tx_n$ for all $n \in \mathbb{N}$. It is clear that, if there exists n_0 for which $x_{n_0+1} = x_{n_0}$, then $Tx_{n_0} = x_{n_0}$. Then the proof is finished. Thus suppose that $x_{n+1} \neq x_n$ for every $n \in \mathbb{N}$. Therefore, we may assume that $x_{n+1} = x_n$ for all $n \in \mathbb{N}$. Now,

$$\begin{aligned} d(x_n, x_{n+1}) &= d(Tx_{n-1}, Tx_n) \\ &\leq \alpha d(x_{n-1}, Tx_n) + \beta d(x_{n-1}, Tx_{n-1}) + \gamma d(x_n, Tx_n) \\ &\leq \alpha d(x_{n-2}, Tx_{n-1}) + \beta d(x_{n-2}, Tx_{n-2}) + \gamma d(x_{n-1}, Tx_{n-1}) \\ &\leq \alpha d(x_{n-3}, Tx_{n-2}) + \beta d(x_{n-3}, Tx_{n-3}) + \gamma d(x_{n-2}, Tx_{n-2}) \\ &\vdots \\ &= \alpha d(x_{n-1}, x_n) + \beta d(x_{n-1}, x_n) + \gamma d(x_n, x_{n+1}) \end{aligned}$$

Therefore, we get

$$\begin{aligned} d(x_n, x_{n+1}) &\leq \frac{\alpha+\beta}{1-\gamma} d(x_{n-1}, x_n) \\ &= r.d(x_{n-1}, x_n) \end{aligned} \tag{0.4}$$

Thus, we obtain

$$\begin{aligned} d(x_n, x_{n+1}) &= d(Tx_{n-1}, x_n) \\ &\leq rd(x_{n-1}, x_n) \\ &\leq r^2 d(x_{n-2}, x_{n-1}) \\ &\vdots \\ &\leq r^n d(x_0, x_1). \end{aligned} \tag{0.5}$$

For all $n, m \in \mathbb{N}$ with $n < m$,

$$\begin{aligned} d(x_n, x_m) &\leq max\{\theta(x_n, x_{n+1}) d(x_n, x_{n+1}), \theta(x_{n+1}, x_m) d(x_{n+1}, x_m)\} \\ &\leq max\left\{\begin{array}{c} \theta(x_n, x_{n+1}) d(x_n, x_{n+1}), \\ \theta(x_{n+1}, x_m)\theta(x_{n+1}, x_{n+2}) d(x_{n+1}, x_{n+2}), \\ \theta(x_{n+1}, x_m)\theta(x_{n+2}, x_m) d(x_{n+2}, x_m) \end{array}\right\} \\ &\vdots \\ &\leq max\left\{\begin{array}{c} \theta(x_n, x_{n+1}) d(x_n, x_{n+1}), \\ \sum_{i=n+1}^{m-2}\left(\prod_{j=n+1}^{i}\theta(x_j, x_m)\right)\theta(x_i, x_{i+1}) d(x_i, x_{i+1}), \\ \left(\prod_{i=n+1}^{m-1}\theta(x_i, x_m)\right) d(x_{m-1}, x_m) \end{array}\right\} \end{aligned} \tag{0.6}$$

and then

$$d(x_n, x_m) \leq max\left\{\theta(x_n, x_{n+1}) r^n d(x_0, x_1), \sum_{i=n+1}^{m-1}\left(\prod_{j=0}^{i}\theta(x_j, x_m)\right)\theta(x_i, x_{i+1}) r^i d(x_0, x_1)\right\} \tag{0.7}$$

Now if we define

$$S_n = \sum_{i=0}^{n}\left(\prod_{j=0}^{i}\theta\left(x_j, x_m\right)\right)\theta\left(x_i, x_{i+1}\right)r^i d(x_0, x_1).$$

Then applying the ratio test, we have

$$a_n = \left(\prod_{j=0}^{i}\theta\left(x_j, x_m\right)\right)\theta\left(x_i, x_{i+1}\right)r^i d(x_0, x_1)$$

and

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} = r.\,\theta\left(x_i, x_m\right).\frac{\theta\left(x_{i+1}, x_{i+2}\right)}{\theta\left(x_i, x_{i+1}\right)} \tag{0.8}$$

Therefore, under condition (2), the series $\sum_n a_n$ converges. Therefore, $\lim_{n\to\infty} S_n$ exists. So the real sequence $\{S_n\}$ is Cauchy. Thus we obtained the inequality.

$$d\left(x_n, x_m\right) \le d\left(x_0, x_1\right) max\left\{r^n\theta\left(x_n, x_{n+1}\right), S_{m-2} - S_n\right\}. \tag{0.9}$$

Letting $\mathrm{n, m} \to \infty,$ we get

$$\lim_{\mathrm{n,m}\to\infty} \mathrm{d}\left(\mathrm{x_n}, \mathrm{x_m}\right) = 0. \tag{0.10}$$

So, the sequence $\left\{\mathrm{x_n}\right\}$ is Cauchy. Since $\left(\mathrm{X, d}\right)$ is a complete controlled ultrametric type space then there is a $\mathrm{x_0^*} \in \mathrm{X}$ such that

$$\lim_{n\to\infty} d\left(x_n, x_0^*\right) = 0 \tag{0.11}$$

which means $\mathrm{x_n} \to \mathrm{x_0^*}$ as $\mathrm{n} \to \infty$. Now our claim is to show that $Tx_0^* = x_0^*$.

$$\begin{aligned} d(x_0^*, Tx_0^*) &\le max\left\{\theta\left(x_0^*, x_{n+1}\right)d\left(x_0^*, x_{n+1}\right), \theta\left(x_{n+1}, Tx_0^*\right)d\left(x_{n+1}, Tx_0^*\right)\right\} \\ &\le max\left\{\theta\left(x_0^*, x_{n+1}\right)d\left(x_0^*, x_{n+1}\right), \theta\left(x_{n+1}, Tx_0^*\right)d\left(Tx_n, Tx_0^*\right)\right\} \\ &\le max\left\{\begin{matrix}\theta\left(x_0^*, x_{n+1}\right)d\left(x_0^*, x_{n+1}\right), \\ \theta\left(x_{n+1}, Tx_0^*\right)\left[\alpha d\left(x_n, Tx_0^*\right) + \beta d\left(x_n, Tx_n\right) + \gamma d(x_0^*, Tx_0^*)\right]\end{matrix}\right\} \\ &= max\left\{\begin{matrix}\theta\left(x_0^*, x_{n+1}\right)d\left(x_0^*, x_{n+1}\right), \\ \theta\left(x_{n+1}, Tx_0^*\right)\left[\alpha d\left(x_n, Tx_0^*\right) + \beta d\left(x_n, Tx_{n+1}\right) + \gamma d(x_0^*, Tx_0^*)\right]\end{matrix}\right\} \end{aligned} \tag{0.12}$$

Using the facts (ii) in (3) and letting the limit as $\mathrm{n} \to \infty$, we obtained

$$d(x_0^*, Tx_0^*) \le \theta(\mathrm{x_{n+1}}, \mathrm{Tx_0^*})[\gamma \lim_{\mathrm{n}\to\infty} \mathrm{d}(\mathrm{x_0^*}, \mathrm{Tx_0^*})] \tag{0.13}$$

Suppose that $Tx_0^* \neq x_0^*$. Since

$$\lim_{n\to\infty}\theta\left(x, x_n\right) < \frac{1}{\gamma},$$

we have

$$0 < d\left(x_0^*, Tx_0^*\right) \le \theta\left(x_{n+1}, Tx_0^*\right)\left[\gamma \lim_{n\to\infty} d\left(x_0^*, Tx_0^*\right)\right] < d\left(x_0^*, Tx_0^*\right)$$

It is a contradiction which means $Tx_0^* = x_0^*$. Finally, assume that T has two fixed point, say p and q. Then

$$d(p,q) = d(Tp,Tq) \le \alpha d(p,q) + \beta d(p,Tp) + \gamma d(q,Tq).$$

And so $(1-\alpha)d(p,q) \le 0$. Since $\alpha \neq 1$, we recevied $d(p,q) = 0$ which implies $p = q$. This is completes the proof.

REFERENCES

[1] A. George and P. Veeramani, "On some results in fuzzy metric spaces," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 64, pp. 395–399, 1994.

[2] S. G. Matthews, "Partial metric topology," *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 728, pp. 183–197, 1994.

[3] Z. Mustafa and B. Sims, "A new approach to generalized metric spaces," *Journal of Nonlinear and Convex Analysis*, vol. 7, pp. 289–297, 2006.

[4] V. V. Chistyakov, "Modular metric spaces, I: Basic concepts," *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, vol. 72, no. 1, pp. 1–14, 2010.

[5] N. Mlaiki, H. Aydi, N. Souayah, and T. Abdeljawad, "Controlled metric type spaces and the related contraction principle," *Mathematics*, vol. 6, no. 10, Art. no. 194, 2018.

[6] M. M. Bonsangue, F. van Breugel, and J. J. M. M. Rutten, "Generalized ultrametric spaces: Completion, topology, and powerdomains via the Yoneda embedding," Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam, The Netherlands, Tech. Rep., 1995.

[7] M. Babahmed, A. El Amrani, and S. Lazaiz, "Fixed points and diametral sets for sequentially bounded mappings in orbital ultrametric spaces," *Proyecciones (Antofagasta, Online)*, vol. 39, pp. 481–493, 2020.

[8] D. R. Kumar and M. Pitchaimani, "A generalization of set-valued Prešić–Reich type contractions in ultrametric spaces with applications," *Journal of Fixed Point Theory and Applications*, vol. 19, pp. 1871–1887, 2017.

[9] L. Gajić, "On ultrametric space," *Novi Sad Journal of Mathematics*, vol. 31, pp. 69–71, 2001.

[10] T. Yoğunali and E. Kaplan, "Controlled ultrametric-type spaces," submitted for publication.

A FIXED POINT THEOREM FOR CHATTERJEA CONTRACTIONS IN MULTIPLICATIVE MODULAR METRIC SPACES

Asst. Prof. Elif KAPLAN
Ondokuz Mayıs University
elifaydin@omu.edu.tr - 0000-0002-7620-3387
Assoc. Prof. Dr. Nihal TAŞ
Balıkesir University
nihaltas@balikesir.edu.tr- 0000-0002-4535-4019

ABSTRACT

In this work, we investigate fixed point theory in the framework of multiplicative modular metric spaces by introducing a Chatterjea-type contraction condition adapted to the multiplicative–modular structure. Motivated by previously identified gaps in Banach- and Kannan-type fixed point results in modular metric spaces, particularly those arising from the presence of infinite modular values, we develop appropriate notions of sequences, convergence, and completeness in this setting. A Chatterjea-type multiplicative modular contraction is then defined, providing a flexible and robust alternative to classical contraction conditions. Under verifiable assumptions, we establish existence and uniqueness results for fixed points and prove the convergence of the corresponding Picard iterative sequences. The obtained results extend and refine several known fixed point theorems in generalized metric frameworks and contribute to the growing literature on fixed point theory in multiplicative modular metric spaces.

Key Words: Fixed point, Chatterjea contraction, multiplicative modular metric space, generalized metric space.

1. INTRODUCTION AND PRELIMINARIES

Fixed point theory constitutes a fundamental tool in nonlinear analysis, with far–reaching applications in differential equations, integral equations, optimization theory, and iterative algorithms. Over the past decades, the classical metric framework has been extended in various directions in order to model nonstandard distance structures arising in analysis and applied sciences. Among these generalizations, modular metric spaces**,** introduced by Chistyakov [1], provide a flexible setting where the distance between two points depends on an additional positive parameter and may even attain infinite values.

Despite their generality, fixed point results in modular metric spaces have encountered several critical difficulties**.** In particular, early Banach- and Kannan-type contraction principles formulated in this framework were shown to contain serious gaps [2]. Dehghan et al. [3] provided explicit counterexamples demonstrating that some of these results fail without additional assumptions, while Abdou and Khamsi [4] emphasized that the lack of a genuine triangle inequality and the possibility of infinite modular values fundamentally obstruct classical fixed point arguments. To remedy these issues, regularity assumptions and weakened notions of convergence were introduced, leading to corrected but structurally restrictive fixed point theorems. Noywiset and Saejung [4] critically revisited fixed point theorems in modular metric spaces and proposed corrected results that avoid restrictive regularity assumptions by introducing Banach-type and Kannan-type sequences adapted to the modular structure. Their approach clarifies the role of boundedness and convergence in modular metric spaces and establishes fixed point theorems under more natural and verifiable conditions. These developments highlight the necessity of carefully reformulating classical contraction principles when passing from metric spaces to modular-based generalized distance structures, and they motivate further extensions of fixed point theory in generalized settings.

Parallel to these developments, multiplicative metric spaces [5] have attracted increasing attention due to their suitability for problems with exponential growth, ratio-based measurements, and multiplicative dynamics. Motivated by this perspective, multiplicative versions of modular metric spaces have been proposed [6].

In this work, we introduce the notion of a Chatterjea-type contraction in multiplicative modular metric spaces. We carefully develop the associated concepts of sequences, convergence, and completeness in this setting, ensuring consistency with the multiplicative modular structure and avoiding the shortcomings identified in earlier works. Under suitable and verifiable assumptions, we establish fixed point existence and uniqueness theorems and prove the convergence of Picard-type iterative sequences.

Definition 1.1. Let X be a nonempty set and a function $d : X \times X \to \square$ that holds the followings for all $x, y, z \in X$,

m1. $d(x, y) \geq 0$,

m2. $d(x, y) = 0$ if and only if $x = y$,

m3. $d(x, y) = d(y, x)$,

m4. $d(x,y) \le d(x,z) + d(z,y).$

A metric space is denoted by (X,d) and d is referred to as a metric on X.

A modular metric space is a generalization of a standard metric space, introducing an additional parameter (often denoted by λ) into the distance function. This parameter allows for a more flexible notion of distance or closeness that can vary depending on the context or scale.

Definition 1.2. [1] Let X be a nonempty set. w is a modular metric which is a function $w:(0,\infty)\times X\times X \to [0,\infty]$ that satisfies the following axioms for all $x,y,z \in X$ and for all $\lambda,\mu \in (0,\infty)$:

w1. $w_\lambda(x,y) = 0$ if and only if x=y,

w2. $w_\lambda(x,y) = w_\lambda(y,x)$,

w3. $w_{\lambda+\mu}(x,y) \le w_\lambda(x,z) + w_\mu(z,y).$

A modular metric space is referred by (X,w). Here, $w_\lambda(x,y)$ is shorthand for $w(\lambda,x,y)$.

If (X,d) is a metric space, then $w_\lambda(x,y) = d(x,y)$ for all $\lambda > 0$ defines a modular metric. In this case, the λ parameter doesn't actually influence the distance, but the definition is stil satisfied.

If (X,d) is a metric space, then $w_\lambda(x,y) = \dfrac{d(x,y)}{\lambda}$ for all $\lambda > 0$ defines a modular metric. This can be interpreted as the average velocity required to travel from x to y in time λ. This is a common and important example.

A multiplicative metric space is a type of generalized metric space where the traditional addition in the triangle inequality is replaced by multiplication. This concept was introduced by Bashirov et al. in 2008 [5], drawing inspiration from multiplicative calculus.

Definition 1.3. [5] Let X be a nonempty set. d^* is a multiplicative metric, which is a function $d^*: X\times X \to [1,\infty)$ that satisfies the following four axioms for all $x,y,z \in X$

mm1. $d^*(x,y) \ge 1,$

mm2. $d^*(x,y)=1$ if and only if $x=y$,

mm3. $d^*(x,y)=d^*(y,x)$,

mm4. $d^*(x,y)\le d^*(x,z).d^*(z,y)$.

Then, (X,d^*) is a multiplicative metric space.

Remark 1.4. [6] A crucial insight is that a multiplicative metric space (X,d^*) be converted into a standard metric space (X,d) by defining $d(x,y)=\ln(d^*(x,y))$. Conversely, a standard metric space (X,d) can be converted into a multiplicative metric space by defining $d^*(x,y)=e^{d(x,y)}$. This equivalence means that many results from standard metric spaces can be translated to multiplicative metric spaces and vice versa.

Multiplicative modular metric space is a relatively new and advanced mathematical concept that combines the ideas of a multiplicative metric space and a modular metric space. It introduces both a parameter (like in modular spaces) and a multiplicative structure for the distance function.

Definition 1.5. [7] Let X be a nonempty set and $w:(1,\infty)\times X\times X\to[1,\infty]$ to be a function that satisfies the subsequent properties for all $x,y,z\in X$ and $\lambda,\mu>1$;

i. $w_\lambda(x,y)=1$ if and only if $x=y$,

ii. $w_\lambda(x,y)=w_\lambda(y,x)$,

iii. $w_{\lambda\mu}(x,y)\le w_\lambda(x,z)w_\mu(z,y)$.

Then, (X,w) is referred to as an multiplicative modular metric space.

Remark 1.6. Although classical modular metric spaces assume that the function $0<\lambda\to w_\lambda(x,y)$ is nonincreasing on $(0,\infty)$, this property does not generally hold in the setting of multiplicative modular metric spaces when $\lambda\le 1$. In several parts of [7], which is the first work introducing the notion of multiplicative modular metric spaces, the modular parameter λ was assumed to satisfy either $\lambda>0$ or $\lambda>1$. This inconsistency was unintentional. Upon a careful reexamination of the multiplicative modular metric structure, particularly the behavior of the mapping $\lambda\to w_\lambda(x,y)$, we observe that imposing the condition $\lambda>1$ is more appropriate to ensure coherence and structural consistency within the multiplicative modular metric framework.

We would also like to note that the above observation has been taken into account in our subsequent work. In particular, the definition of the modular parameter has been revised accordingly,

and the condition $\lambda > 1$ has been adopted throughout. Using this updated framework, our recent study on F-contractions in multiplicative modular metric spaces has been successfully completed and accepted for publication [8]. This further confirms the appropriateness of the revised parameter domain and supports the consistency of the multiplicative modular metric structure when developing fixed point results.

Example 1.7. [8] Let $X = [1, \infty)$ and $\lambda > 1$. Define the function $w : (1, \infty) \times X \times X \to [1, \infty]$ as follows:

$$w_\lambda(x, y) = \begin{cases} 1, & x = y \\ \dfrac{xy}{\lambda^2}, & x \neq y \end{cases}$$

for every $x, y \in X$. Then, (X, w) is a multiplicative modular metric space, but it is not a modular metric space.

Lemma 1.8. [7] Let $\lambda > 1$ and (X, w) be a multiplicative modular metric space. Then, for each $x, y \in X$, the function $\lambda \to w_\lambda(x, y)$ is nonincreasing.

Definition 1.9. [7] Let (X, w) be a multiplicative modular metric space, and let $\{x_n\}$ be a sequence in X with $x \in X$. Then, the sequence $\{x_n\}$ w-converges to x, written as $x_n \to x$ as $n \to \infty$, if for every $\lambda > 1$ and $\varepsilon > 1$, there exists $n_0 \in \mathbb{N}$ such that $n \geq n_0 \Rightarrow x_n \in B_\lambda(x, \varepsilon)$, where the w-open ball is defined as

$$B_\lambda(x, \varepsilon) = \{y \in X : w_\lambda(x, y) < \varepsilon\}.$$

This is equivalent to the following condition:

$$\lim_{n \to \infty} w_\lambda(x_n, x) = 1$$

for all $\lambda > 1$.

Definition 1.10. [7] Let (X, w) be a multiplicative modular metric space with a sequence $\{x_n\}$ in X. Then, $\{x_n\}$ is called w-Cauchy sequence if and only if $w_\lambda(x_n, x_m) \to 1$ as $m, n \to \infty$. Also, if any w-Cauchy sequence in X w-converges to the point of X, then X is called a complete multiplicative modular metric space.

MAIN RESULTS

Motivated by the sequence-based notions of Banach- and Kannan-type contractions in multiplicative modular metric spaces [9], we now introduce a Chatterjea-type contraction concept within the framework of multiplicative modular metric spaces.

In the existing literature, Banach- and Kannan-type contractions are often characterized via the behavior of the sequences generated by the Picard iteration. This sequential approach allows one to capture the contractive nature of a mapping without imposing a direct inequality on the mapping itself.

Adopting a similar sequence-based approach, we introduce a Chatterjea-type contraction notion in multiplicative modular metric spaces., which naturally extends the classical Chatterjea condition to the multiplicative modular setting.

Definition 2.1. Let (X, w) be a multiplicative modular metric space, where $w : (1,\infty) \times X \times X \to [1,\infty]$ with $\lambda > 1$. A sequence $\{x_n\} \subset X$ is called a λ-sequence of Chatterjea type if there exists a constant $\theta = \theta(\lambda) \in (0,1)$ such that

$$w_\lambda(x_{n+1}, x_{m+1}) \le \left[w_\lambda(x_n, x_{m+1}) w_\lambda(x_{n+1}, x_m) \right]^{\frac{\theta}{2}}$$

for all $n, m \ge 1$.

Lemma 2.2. Let (X, w) be a multiplicative modular metric space and let $\lambda > 1$ be given. Let $\{x_n\} \subset X$ be a λ-sequence of Chatterjea type and define $C(\lambda, n) = w_\lambda(x_n, x_{n+1}), n \ge 1$. Assume that the function $\lambda \to w_\lambda(x, y)$ is right-continuous for all $x, y \in X$. If there exists $N \ge 1$ such that $C(\lambda, n) < \infty$ for all $n \ge N$, then $\lim_{n\to\infty} w_\lambda(x_n, x_m) = 1$.

That is, every λ-sequence of Chatterjea type satisfying the above boundedness condition is a Cauchy sequence in the sense of multiplicative modular metric spaces.

Definition 2.3. Let (X, w) be a multiplicative modular metric space. A mapping $T : X \to X$ is a contraction of Chatterjea type if there exists a constant $\theta \in (0,1)$ such that

$$w_\lambda(Tx, Ty) \le \left[w_\lambda(x, Ty) w_\lambda(y, Tx) \right]^{\frac{\theta}{2}},$$

for all $x, y \in X$ and $\lambda > 1$.

Theorem 2.4. Suppose that $w:(1,\infty)\times X\times X\to[1,\infty]$ is a multiplicative modular metric on a nonempty set X and the space (X,w) is complete. Suppose that $T:X\to X$ is a contraction of Chatterjea type and the function $\lambda\to w_\lambda(x,y)$ is right continuous for all $x\in X$. Assume further that there exists $x_0\in X$ such that $w_\lambda(x_0,Tx_0)<\infty$ for all $\lambda>1$. Then T has a unique fixed point $x^*\in X$.

Proof: Suppose that T is a contraction of Chatterjea type with $\theta\in(0,1)$. Let $x_0\in X$ and define the sequence $\{x_n\}$ by $x_{n+1}=Tx_n$ for all $n\geq 0$. It follows that $\{x_n\}$ is of Chatterjea type and $w_\lambda(x_0,Tx_0)<\infty$ for all $\lambda>1$. Then $\{x_n\}$ is Cauchy and hence there exists $x^*\in X$ such that $\lim_{n\to\infty} w_\lambda(x_n,x^*)=1$ for all $\lambda>1$. Finally, we show that $x^*=Tx^*$. Let $\lambda>1$ and $\varepsilon>0$. Note that $\lim_{n\to\infty} w_{1+\varepsilon}(x^*,x_{n+1})=\lim_{n\to\infty} w_\lambda(x^*,x_{n+1})=1$. It follows that

$$\begin{aligned} w_{(1+\varepsilon)\lambda}(x^*,Tx^*) &\leq \liminf_{n\to\infty}\left[w_{(1+\varepsilon)}(x^*,x_{n+1})\,w_{(1+\varepsilon)\lambda}(x_{n+1},Tx^*)\right]\\ &\leq \lim_{n\to\infty} w_{(1+\varepsilon)}(x^*,x_{n+1})\limsup_{n\to\infty} w_\lambda(Tx_n,Tx^*)\\ &= \limsup_{n\to\infty} w_\lambda(Tx_n,Tx^*)\\ &\leq \limsup_{n\to\infty}\left[w_\lambda(x_n,Tx^*)\,w_\lambda(x_{n+1},x^*)\right]^\theta\\ &= \left[w_\lambda(x^*,Tx^*)\right] \end{aligned}$$

In particular, since $\lambda\to w_\lambda(x^*,Tx^*)$ is right continuous, we have

$$w_\lambda(x^*,Tx^*)=\lim_{\varepsilon\to 0^+} w_{(1+\varepsilon)\lambda}(x^*,Tx^*)\leq\left[w_\lambda(x^*,Tx^*)\right]^\theta.$$

It follows from $0<\theta<1$, and $w_\lambda(x^*,Tx^*)<\infty$ that $w_\lambda(x^*,Tx^*)=1$. Since $\lambda>1$ is arbitrary, we conclude that $x^*=Tx^*$. Finally, to prove uniqueness, assume that $y^*\in X$ is another fixed point of T. Then,

$$w_\lambda(x^*,y^*)=w_\lambda(Tx^*,Ty^*)\leq\left[w_\lambda(x^*,Ty^*)\,w_\lambda(y^*,Tx^*)\right]^{\frac{\vartheta}{2}}=\left[w_\lambda(x^*,y^*)\right]^\theta$$

Since $0<\theta<1$, this inequality is possible if $w_\lambda(x^*,Tx^*)=1$, hence $x^*=y^*$.

REFERENCES

1. Chistyakov, V. V., Modular metric spaces, I: Basic concepts, *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, **72** (1), 1–14, 2010.
2. Mongkolkeha, C., Sintunavarat, W. ve Kumam, P**.**, Fixed point theorems for contraction mappings in modular metric spaces, *Fixed Point Theory and Applications*, 2011 (2011), 9 s.
3. Dehghan, H., Eshaghi Gordji, M. ve Ebadian, A., Comment on "Fixed point theorems for contraction mappings in modular metric spaces", *Fixed Point Theory and Applications*, 2012 (2012), No. 144, 3 s.
4. Abdou, A. N. ve Khamsi, M. A., Fixed point results of pointwise contractions in modular metric spaces, *Fixed Point Theory and Applications*, 2013 (2013), No. 163, 11 s.
5. Bashirov, A. E., Kurpınar, E. M. ve Özyapıcı, A., Multiplicative calculus and its applications, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, **337** (1), 36–48, 2008.
6. Agarwal, R. P., Karapınar, E. ve Samet, B., An essential remark on fixed point results on multiplicative metric spaces, *Fixed Point Theory and Applications*, 2016 (2016), No. 21.)
7. Kaplan, E., Taş, N., Haque, S. ve Mlaiki, N., Multiplicative modular metric spaces and some fixed point results, *Journal of Inequalities and Applications*, 2025 (2025), No. 1.
8. Kaplan, E., F-Contractions in w-Multiplicative Modular Metric Spaces with an Application, *accepted.*
9. Noywiset, A. ve Saejung, S., Some fixed point theorems in modular metric spaces, *Proceedings of the 22nd Annual Meeting in Mathematics (AMM 2017)*, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, 2017. https://math.science.cmu.ac.th/amm2017/proceedings/ANA-02.pdf

TOTAL DOMINATION RUPTURE DEGREE OF GRAPHS

Ayten ALTUNBAŞ[1], Prof. Dr. Alpay KIRLANGIÇ[2]

[1]Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mathematics, Bornova, Izmir

[2]Ege University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 35100, Bornova/İzmir

[1]aytenaltunbas140@gmail.com - 0009-0001-2873-6330

[2]alpay.kirlangic@ege.edu.tr - 0000-0001-8009-7209

ABSTRACT

Communication networks are present in every aspect of our lives. Friendship networks like WhatsApp and Facebook, as well as networks used for buying and selling goods like Amazon and Trendyol, significantly simplify our daily lives. However, when a problem occurs in these networks, our daily lives are impacted. Damage to some members of a communication network prevents all its members from communicating effectively with each other. So, the resulting vulnerability determines the network's resilience or vulnerability to disruptions caused by the failure of stations or links within the system.

If we model a communication network using the graph G, network stations correspond to the graph's vertices, and connecting lines correspond to the graph's edges. In this case, the vulnerability value of a communication network corresponds to the "vulnerability value" of the graph G. The vulnerability value of the graph G can be obtained using various graph parameters. Some of these parameters are connectivity, integrity, scattering number, and rupture degree. When examining the vulnerability value, the values of all stations in the network may be equal. However, some stations in the network may be located in different locations. For example, some stations may represent decision-making bodies. Therefore, the damage incurred when all stations in a communication network have equal value may be smaller or larger than the damage incurred when the network's decision-making bodies are damaged. The decision-making bodies of a communication network correspond to the “total domination set” of a graph G. With this motivation, in the "rupture degree" measure of a graph G defined by Zhang et al., we choose the total domination set as the damaged stations. Therefore, we define a new vulnerability measure and call it the "Total Domination Rupture Degree” of graph G.

In this study, we first investigate the vulnerability values of the some basic graphs for this measure. After, we obtain the Total Domination Rupture Degree of the Middlee Graphs of some basic graphs. Finally, we compare the obtained results and try to determine for which graph families the our definition is suitable.

Anahtar Kelimeler : Networks, Vulnerability, Connectivity, Rupture Degree.

2020 MSC: 05C40, 05C69, 68R10, 68M10

Approximation Properties of (p,q)-Baskakov Operators Involving Modified Euler Polynomials

GülsümUlusoy ADA

Çankırı Karatekin University

gulsumulusoy@karatekin.edu.tr-ORCID:0000-0003-2755-2334

Mussa Yousef MOHAMED

Çankırı Karatekin University

mussablhaj1980@gmail.com- ORCID: 0009-0003-0408-0239

Abstract

This research introduces a novel class of linear positive (p,q)-Baskakov operators integrated with modified Euler polynomials. The construction ensures operator positivity on $[0,\infty)$ while maintaining the asymptotic properties of classical Euler polynomials. We establish fundamental approximation properties, including moment estimates, uniform convergence via Korovkin's theorem, and rate of convergence using the modulus of continuity. The results demonstrate that these operators generalize various Baskakov-type models within (p,q)-calculus, offering a versatile framework for weighted and multivariate approximation theory.

Keywords: Approximation theory; (p,q)-calculus; Baskakov operators; Euler polynomials; Linear positive operators.

References

1. Acar, T., Mohiuddine, S. A. and Mursaleen, M., Approximation by (p, q)-Baskakov–Durrmeyer–Stancu operators, *Complex Analysis and Operator Theory*, 12 (6), 1453-1468, 2018.

2. Baskakov, V. A., An instance of a sequence of linear positive operators in the space of continuous functions, *In: Doklady Akademii Nauk*, Russian Academy of Sciences, 249-251, 1957.

3. Bernstein, S., *Démonstration du théorème de Weierstrass fondée sur le calcul des probabilités*, Communications of the Kharkov Mathematical Society, 13 (1), 1-2, 1912.

4. Mursaleen, M., Ansari, K. J. and Khan, A., On (p, q)-analogue of Bernstein operators, *Applied Mathematics and Computation*, 266, 874-882, 2015.

5. Rafeeq, S., et al., On post-quantum multiparameter Riemann–Liouville fractional integral inequalities with application, *Journal of Inequalities and Applications*, 2025 (1), 93, 2025.

6. Rao, N., et al., Szász Chlodowsky Type Operators Coupling Adjoint Bernoulli's Polynomials, *Journal Name*, 2024.

7. Srivastava, H. M., et al., A certain class of weighted statistical convergence and associated Korovkin-type approximation theorems involving trigonometric functions, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 41 (2), 671-683, 2018.

Analysis of Oscillation in Fractional Order Systems

GülsümUlusoy ADA

Çankırı Karatekin University

gulsumulusoy@karatekin.edu.tr-ORCID:0000-0003-2755-2334

Mussa Yousef MOHAMED

Çankırı Karatekin University

mussablhaj1980@gmail.com-ORCID: 0009-0003-0408-0239

Abstract

This research establishes a rigorous mathematical framework using fractional calculus to model complex systems exhibiting non-local characteristics and hereditary memory1. By employing the Caputo fractional derivative of order $\alpha>0$, the study analyzes dynamics through the two-parameter Mittag-Leffler function, $E_{\alpha,\beta}(z)$, which generalizes classical exponential decay into algebraic $t^{-\alpha}$ asymptotic behavior2. A comparative analysis reveals that fractional-order systems provide superior characterization of slow relaxation and non-local memory compared to integer-order models3. Furthermore, the study identifies that oscillatory stability is governed by eigenvalues satisfying the condition $|arg(\lambda)|>\frac{\alpha\pi}{2}$. The findings underscore fractional calculus as a critical tool for capturing the "memory footprint" in modern engineering and biomedical applications5.

Keywords: Fractional Calculus, Mittag-Leffler Functions $E_{\alpha,\beta}(z)$, Long-term Memory, Mathematical Modeling, Fractional Oscillation

References

1. Agarwal, R., O'Regan, D. and Hristova, S., Stability of Caputo fractional differential equations by Lyapunov functions, *Applications of mathematics*, 60 (6), 653-676, 2015.

2. Diethelm, K. and Ford, N. J., *The analysis of fractional differential equations*, Lecture notes in mathematics, 2004, 2010.

3. Gorenflo, R., et al., *Mittag-Leffler functions, related topics and applications*, 2020.

4. Haubold, H. J., Mathai, A. M. and Saxena, R. K., Mittag-Leffler functions and their applications, *Journal of applied mathematics*, 2011 (1), 298628, 2011.

5. Kilbas, A. A., *Theory and applications of fractional differential equations*, North-Holland mathematics studies, 204, 2006.

6. Lakshmikantham, V., Leela, S. and Vasundhara Devi, J., *Theory of fractional dynamic systems*, 2009.

7. Oldham, K. B., Fractional differential equations in electrochemistry, *Advances in engineering software*, 41 (1), 9-12, 2010.

8. Petrás, I., *Fractional derivatives, fractional integrals, and fractional differential equations in Matlab*, IntechOpen, London, UK, 2011.

Çok Noktadan Temas Eden Bilyelerle Ezerek Parlatma İşleminde İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi ve Sertlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Prof. Dr. ÇETİN ÖZAY
Fırat Üniversitesi
cozay@firat.edu.tr

Şeyhhamit NACAR
Fırat Üniversitesi
seyhhamitncr44@gmail.com- 0009-0001-3474-242X

ÖZET

Bu araştırmada, S355J2B+N yapı çeliğinin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde ezerek parlatma işleminin etkinliği incelenmiştir. Çalışma kapsamında deneyler CNC tezgâhında yürütülmüş; işlem sırasında takım dönme devri, uygulanan kuvvet, bilye türü ve yağlama durumu değişken parametreler olarak ele alınmıştır. Deneylerin planlanmasında Taguchi yöntemine dayalı L16 (4^4) ortogonal deney dizisi kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerleri Ra parametresi esas alınarak temaslı ölçüm yöntemiyle, yüzey sertliği ise Brinell temelli ölçümlerden hesaplanan Vickers sertlik (HV) değerleriyle belirlenmiştir.

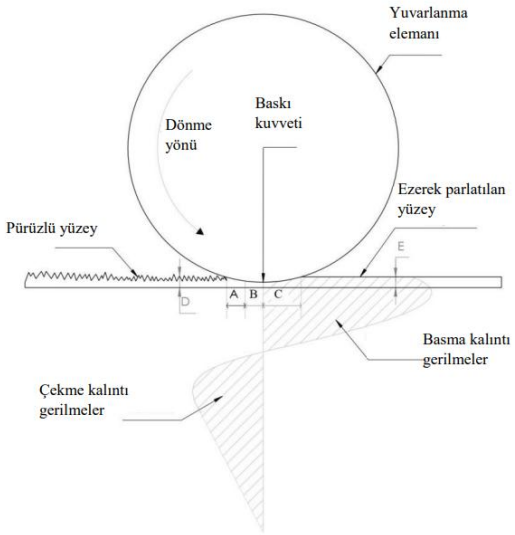
Deneysel bulgular, ezerek parlatma işlemi sonrasında tüm numunelerde yüzey pürüzlülüğünün azaldığını ve yüzey tabakasında belirgin bir pekleşme meydana geldiğini göstermiştir. Uygulanan yükün belirli bir seviyeye kadar artırılması yüzey kalitesini olumlu yönde etkilemiş; ancak yaklaşık 300 N'un üzerindeki yüklerde, yüzeyde lokal deformasyonlar oluştuğu tespit edilmiştir. Takım devrinin çok düşük ve çok yüksek değerlerinde yüzey iyileştirme etkisi sınırlı kalırken, orta devir aralıklarında daha homojen yüzeyler elde edilmiştir. Tungsten karbür bilye kullanımı, çelik bilyeye göre daha etkin bir yüzey iyileştirme sağlamış; yağlı işlem koşullarının ise sürtünmeyi azaltarak yüzey bütünlüğünü desteklediği gözlemlenmiştir. Yapılan Taguchi değerlendirmeleri, uygulanan yük ve bilye malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ve sertlik üzerinde baskın rol oynadığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Ezerek parlatma, S355J2B+N yapı çeliği, yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği, Taguchi yöntemi

1. GİRİŞ

Yüzey bitirme ve yüzey iyileştirme işlemleri, makine/parça imalatında nihai ürün performansı, hizmet ömrü ve güvenilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı durumu, yüzey sertliği ve yüzey tabakasındaki kalıntı gerilmeler; aşınma direnci, yorulma dayanımı, sürtünme davranışı ve genel mekanik performans üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle, geleneksel talaşlı işlemlerin ötesinde sürdürülebilir, ekonomik ve verimli yüzey iyileştirme yöntemlerine olan gereksinim artmaktadır.[1]

Bu ihtiyaç doğrultusunda, plastik deformasyona dayalı yüzey iyileştirme yöntemlerinden biri olan ezerek parlatma (ball/roller burnishing) yöntemi, son yıllarda hem akademik hem de endüstriyel uygulamalarda öne çıkmıştır. Ezerek parlatmada, bilye ya da silindir şeklindeki parlatma elemanı, iş parçası yüzeyine kontrollü bir kuvvetle bastırılarak yüzeydeki mikro geometrik düzensizlikler soğuk deformasyon ile giderilir;[2] Böylece yüzey pürüzlülüğü azalır, yüzeye daha düzgün ve sıkışık bir tabaka kazandırılır; aynı zamanda yüzey tabakasında plastik deformasyon, kalıntı basma gerilmeleri ve mikro yapı yoğunluğu artışı meydana gelebilir.[3] Bu süreç, hem yüzey kalitesini hem de yüzey mekanik özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahiptir.[4]



Görsel 1: Ezme işleminde kalıntı gerilim dağılımının şematik olarak gösterilmesi. [2]

Literatürde, burnishing ve benzeri yüzey iyileştirme işlemlerinin farklı malzemelerde yüzey pürüzlülüğü, sertlik, aşınma direnci gibi kriterler üzerindeki etkisi yaygın biçimde incelenmiştir. Örneğin, hafif metallerden Mg alaşımları üzerinde yapılan çalışmada, burnishing işleminin yüzey pürüzlülüğünü anlamlı oranda azalttığı ve mikrosertlik değerlerini yükselttiği bildirilmiştir.[5] Benzer biçimde, 5083 Al-Mg alaşımında haddeleme / burnishing kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve sertlik iyileştirmesi üzerine parametrelerin etkisi sistematik olarak araştırılmıştır.[6]

Bunun yanında, daha zor işlenen alaşımlar ve süper alaşımlar üzerinde de burnishing yöntemlerinin etkinliği araştırılmıştır. Özellikle Inconel 718 alaşımı üzerinde yapılan bir çalışmada, roller burnishing ile ortalama % 94,29 oranında yüzey pürüzlülüğünde iyileşme sağlandığı rapor edilmiştir.[7] Bu bulgu, burnishing yönteminin sadece hafif alaşımlara değil; yüksek mukavemetli ve zor işlenen malzemelere de uygulanabileceğini göstermektedir.

Buna ek olarak, yüzey iyileştirme işlemlerinin yalnızca pürüzlülüğü değil; yüzey sertliği, aşınma ve yorulma direnci, yüzey bütünlüğü ve yüzey enerjisi gibi çok yönlü parametreleri iyileştirdiğini ortaya koyan çalışmalar mevcuttur. Örneğin, mikro-deformasyon uygulamalarıyla yüzey özelliği modifiye edilmiş paslanmaz çeliklerde yüzey sertliği artışı ve biyouyumluluk yüzey reaktivitesinde değişim gözlenmiştir.[8]

Ayrıca, yüzey bitirme proseslerinde taşlama, lepleme, kaplama, yüzey sertleştirme gibi yöntemlerle işlemin parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Örneğin, taşlama işleminde taş sertliği ve iş parçası sertliği gibi değişkenler yüzey pürüzlülüğü ile doğrudan ilişkilendirilmiştir.[9] Bu tür çalışmalardan elde edilen bulgular, yüzey sertliği ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ters yönlü ilişkinin (sertliğin artışıyla birlikte pürüzlülüğün genellikle azalması) genel olarak geçerli olduğunu göstermektedir.[10] Ezerek parlatma yönteminde takımın dönme hızı, kuvvet ve soğutma sıvısı gibi parametreler yüzeyin iyileştirilmesinde büyük rol oynadığı bir çok deneyde tespit edilmiştir.[11][12]

Türkiye kaynaklı dergilerde yayımlanmış derleme çalışmaları da, metal yüzeylerin parlaklık/pürüzlülük iyileştirilmesinde kullanılan manyetik aşındırıcı tozlar, kaplamalar veya spesifik parlatma teknikleri üzerine detaylı incelemeler sunmaktadır.[13] Bu literatürler, yüzey modifikasyon tekniklerinin sadece geometrik düzeltme değil; yüzey enerjisi, parlaklık ve yüzey yapısı gibi çok boyutlu kalite kriterlerini de iyileştirmede kullanılabileceğini göstermektedir.

Ele alınan literatürlerin analizi, burnishing ve genel yüzey iyileştirme çalışmalarının büyük kısmının hafif alaşımlar, magnezyum, alüminyum veya süper alaşımlar üzerinde yoğunlaştığını; yüksek mukavemetli yapı çelikleri ve özellikle ısıl işlem görmüş yapı çeliklerinde ise sınırlı sayıda çalışma bulunduğunu ortaya koymaktadır.[14] [15] Bu durum, imalat sektöründe yaygın kullanılan yüksek tokluk, sertlik ve yorulma dayanımı gerektiren yapı çeliklerinin yüzey iyileştirme potansiyelinin literatürde yeterince ele alınmadığını göstermektedir.

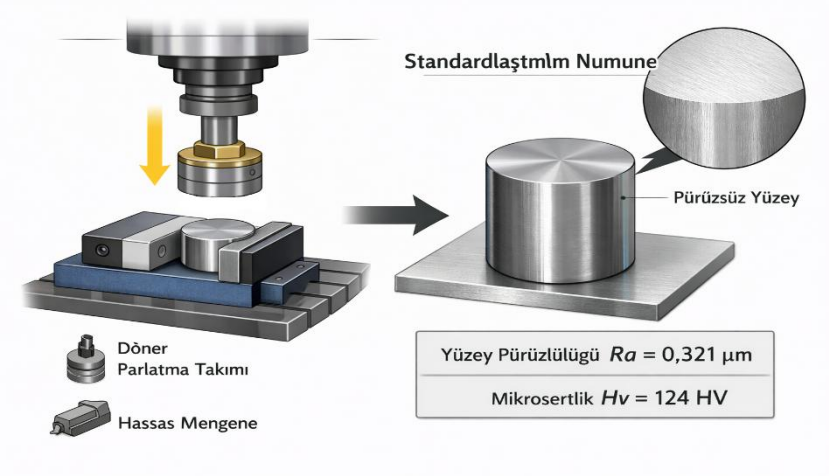
Bu boşluk, özellikle yüksek dayanım yapı çeliği sınıfı olan S355J2B+N gibi malzemelerde farklı bilye malzemesi (çelik, tungsten-karbür), değişken işlem parametreleri (yük, devir), yağlama koşulları ve parametre optimizasyonu sistematik bir araştırmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu tez çalışması, bu ihtiyacı karşılamak üzere; S355J2B+N malzemesinde ezerek parlatma işlemini deneysel olarak inceleyerek, yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve yüzey sertliği (HV)

üzerinden optimize edilmiş parametre seti sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmanın sonuçlarının hem bilimsel literatüre özgün bir katkı sağlaması hem de endüstriyel uygulamalar açısından doğrudan kullanılabilir pratik veri setleri sunması beklenmektedir.

2. YÖNTEM ve MALZEME (METHOD and MATERIAL)

2.1. Ezerek Parlatma Deney Düzeneği

Ezerek parlatma deneyleri, sayısal kontrollü (CNC) bir tezgâh üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği, sert bir temas elemanı olan bilyenin, belirlenen işlem parametreleri altında iş parçası yüzeyi boyunca kontrollü bir şekilde ilerlemesini sağlayacak biçimde yapılandırılmıştır. CNC tezgâhının sunduğu hassas konumlandırma ve parametre kontrolü sayesinde, deney süresince takım dönme devri ve uygulanan yük değerleri kararlı biçimde ayarlanmış ve sabit tutulmuştur.



Görsel 0 CNC tezgâhında numune hazırlama ve başlangıç yüzey standardizasyonunun şematik gösterimi *(Görsel, yapay zekâ destekli olarak yazar tarafından oluşturulmuştur.)20 Aralık 2025*

Deneyler sırasında bilye, iş parçası yüzeyine belirlenen normal kuvvet altında temas ettirilmiş ve yüzey boyunca ilerletilmiştir. Bu temas esnasında, bilye ile iş parçası arasındaki temas bölgesinde yüksek basma gerilmeleri oluşmuş ve bu gerilmeler yüzey tabakasında kontrollü plastik deformasyona neden olmuştur. Meydana gelen plastik deformasyon sonucunda, yüzeyde bulunan mikro çıkıntıların yüzey altına doğru bastırılması sağlanmış ve böylece mikro geometrik düzensizliklerin giderilmesi hedeflenmiştir.

Ezerek parlatma işlemi boyunca malzemeden talaş kaldırılmamış olup, yüzey iyileştirme işlemi tamamen plastik şekil değiştirme mekanizmasına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, yüzey bütünlüğünün korunmasına olanak sağlarken aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünün azaltılmasına ve yüzey tabakasında pekleşme oluşmasına katkı sunmaktadır. CNC tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilen bu deneysel düzenek, işlem parametrelerinin tekrarlanabilir ve güvenilir biçimde uygulanmasını mümkün kılmıştır. Bu çalışmada, ezerek parlatma işleminin yüzey özellikleri üzerindeki etkilerinin sistematik olarak incelenebilmesi

amacıyla; takım dönme devri, uygulanan yük, bilye malzemesi ve yağlama koşulları temel kontrol parametreleri olarak belirlenmiştir.

2.2. Malzeme

Literatürde, S355 sınıfı yapı çelikleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, yüzey mekanik işlemlerinin malzemenin sertlik ve darbe davranışı üzerinde belirgin etkiler oluşturduğu rapor edilmiştir. Bourebia ve ark. tarafından yapılan çalışmada, S355JR çeliğine uygulanan yüzey mekanik işlemler sonucunda yüzey sertliğinde artış ve mekanik performansta iyileşme gözlemlenmiştir. Bu bulgular, S355 sınıfı yapı çeliklerinin plastik deformasyona dayalı yüzey iyileştirme yöntemlerine uygun bir malzeme grubu olduğunu göstermekte ve mevcut tez çalışmasında kullanılan S355J2B+N çeliğinin seçimini desteklemektedir [16]

2.3. Malzemenin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan deney numuneleri, ezerek parlatma işleminin yüzey özellikleri üzerindeki etkilerinin güvenilir ve karşılaştırılabilir biçimde incelenebilmesi amacıyla deney öncesinde CNC tezgâhında işlenmiştir. Numunelerin başlangıç yüzey durumları, tüm deneyler için aynı koşulları sağlayacak şekilde standardize edilmiş; bu kapsamda yüzey pürüzlülüğü değeri yaklaşık Ra ≈ 0,321 µm, yüzey sertliği ise Hv ≈ 124 HV seviyesinde ayarlanmıştır. Böylece, deney sonuçlarının yalnızca uygulanan ezerek parlatma parametrelerinden kaynaklanması sağlanmış ve başlangıç yüzey farklılıklarının deneysel bulgular üzerindeki etkisi minimize edilmiştir.

2.4. Uygulanan Yük

EN 10025-2 standardına göre S355J2B+N yapı çeliğinin minimum akma dayanımı 355 MPa’dır. Ancak ezerek parlatma işlemlerinde uygulanan nominal kuvvet (N) ile yüzeyde oluşan gerilme (MPa) doğrudan karşılaştırılamaz; esas belirleyici olan bilye ile yüzey arasındaki temas bölgesinde oluşan yerel temas gerilmeleridir. Bu çalışmada kullanılan 10 mm çapındaki bilye ile uygulanan 100–400 N aralığındaki yükler, yüzey tabakasında kontrollü plastik deformasyon oluşturacak şekilde seçilmiştir. [17][18]

2.5. Uygulanan Devir

Ezerek parlatma deneylerinde uygulanan takım dönme devirleri, CNC işleme süreçlerinde kullanılan kesme hızı–takım çapı ilişkisine dayalı standart devir hesaplama bağıntısı esas alınarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan devir değerleri, literatürde rapor edilen deneysel çalışmalarla uyumlu olacak şekilde seçilmiş olup, takım devri hesaplamaları Görsel 2.2’ de verilen takım devri hesabı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$$

Görsel 2.2 Takım Devri Hesabı

n : Takım devri (dev/dak, rpm)

Vc : Kesme hızı (100 m/dak)

D : Takım veya iş parçası çapı (Görsel 2.3)

π : 3,14



Görsel 2.3: Takım veya iş parçası çapı

2.6. Bilye Seçimi

Ezerek parlatma işleminin başarısı, temas elemanı olarak kullanılan bilyenin mekanik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Bilye malzemesinin sertliği, elastik modülü ve deformasyon davranışı; bilye ile iş parçası arasındaki temas alanını, temas bölgesinde oluşan gerilme dağılımını ve yüzey tabakasında meydana gelen plastik deformasyonun karakterini belirleyen temel parametreler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, bilye seçimi yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği gibi yüzey iyileştirme çıktıları üzerinde kritik bir etkiye sahiptir [19].

Bu tez çalışmasında, farklı mekanik özelliklere sahip çelik ve tungsten karbür (WC) bilyeler karşılaştırmalı olarak kullanılarak bilye malzemesinin ezerek parlatma performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çelik bilyeler, görece daha düşük sertlik ve elastik modül değerleri sayesinde temas bölgesinde daha geniş bir etkileşim alanı oluşturarak uygulanan kuvvetin yüzeye daha dengeli biçimde aktarılmasını sağlamaktadır. Bu durum, yüzey tabakasında daha homojen ve kontrollü bir plastik deformasyon meydana gelmesine olanak tanımakta ve yüzey bütünlüğünün korunmasına katkı sunmaktadır [20].

Buna karşılık, tungsten karbür bilyeler yüksek sertlik ve elastik modül değerleri nedeniyle temas bölgesinde daha yüksek basma gerilmeleri oluşturmaktadır. Oluşan bu yüksek gerilmeler, yüzeydeki mikro çıkıntıların daha etkin biçimde bastırılmasını sağlayarak yüzey pürüzlülüğünün daha düşük seviyelere indirilebilmesine imkân tanımaktadır. Aynı zamanda, yüzey tabakasında daha belirgin bir pekleşme meydana gelerek yüzey sertliğinde artış sağlanmaktadır. Ancak literatürde, yüksek sertlikteki bilyelerin uygun olmayan yük ve işlem koşulları altında kullanılması durumunda yüzeyde aşırı plastik deformasyon ve yerel hasar riskinin artabileceği de vurgulanmaktadır [19,20].

Bu kapsamda, tez çalışmasında her iki bilye türü kontrollü işlem parametreleri altında değerlendirilmiş; bilye malzemesine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğinde meydana gelen değişimler sistematik olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, bilye malzemesinin ezerek parlatma işleminde yüzey iyileştirme performansının optimize edilmesinde belirleyici bir tasarım parametresi olduğunu ortaya koymaktadır

2.7. Yağlama Koşulları

Deneyler, yağlı ve yağsız olmak üzere iki farklı koşul altında gerçekleştirilmiştir. Yağlı koşullarda bor yağı kullanılarak bilye ile yüzey arasındaki sürtünmenin azaltılması hedeflenmiştir. Yağsız koşullarda ise herhangi bir yağlayıcı kullanılmadan doğrudan temas sağlanmış ve yağlamanın yüzey pürüzlülüğü ile sertlik üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2.8. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Ezerek parlatma işlemleri sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, Şekil 2.4'te gösterilen Mitutoyo 178-560-01D model temaslı yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmış ve kullanılan ölçüm cihazının kalibrasyonu DKD-R 4-2 B2 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, kalite kontrol laboratuvarı ortamında ve temaslı ölçüm prensibine göre yapılmıştır. Kullanılan cihazın ölçüm aralığı 0–160 µm olup, ölçüm çözünürlüğü 0,001 µm'dir.

Yüzey pürüzlülüğü değerlendirmelerinde, yüzey kalitesinin karşılaştırılabilir şekilde analiz edilebilmesi amacıyla Ra (ortalama yüzey pürüzlülüğü) parametresi esas alınmıştır. Her bir numune için birden fazla ölçüm alınmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliğini ve güvenilirliğini artırmak amacıyla tercih edilmiştir.



Görsel 2.4 Mitutoyo 178-560-01D model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

2.9. Yüzey Sertliği Ölçüm Yöntemi

Ezerek parlatma işlemleri sonrasında yüzey sertliği ölçümleri için Şekil 2.5'te gösterilen portatif dijital sertlik ölçüm cihazı (RF005, S00-0183) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri, Brinell esaslı ölçüm prensibine göre alınmış; elde edilen değerler, yüzey sertliğinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamak amacıyla Vickers sertlik (HV) karşılıkları cinsinden ifade edilmiştir.

Kullanılan cihazın ölçüm çözünürlüğü 1 HB olup, ölçümler EN ISO 6506-2 ve ASTM E10 standartlarına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm güvenilirliğini artırmak amacıyla, her bir deney numunesi üzerinde birden fazla noktadan sertlik ölçümü yapılmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yüzey sertliği sonuçları belirlenmiştir.



Görsel 2.5 Portatif Dijital Sertlik Ölçüm Cihazı (RF005, S00-0183)

2.10. Taguchi Yöntemi ile Parametrelerin Etkisinin İncelenmesi

Ezerek parlatma işlemine ait yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve yüzey sertliği (HV) değerlerini etkileyen kontrol parametreleri, bu çalışmada Taguchi yöntemi kullanılarak sistematik biçimde analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için çıktı değerinin minimize edilmesini esas alan en küçük değer hedefli, yüzey sertliği için ise çıktı değerinin maksimize edilmesini amaçlayan en büyük değer hedefli kalite karakteristikleri dikkate alınmış ve değerlendirmeler Sinyal/Gürültü (S/N) oranları oranları üzerinden değerlendirilmiştir.

2.10.1. Taguchi Yöntemi ile Yüzey Pürüzlülüğü ve Sertlik Değerlendirmesi

Bu çalışmada, ezerek parlatma işleminde yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve yüzey sertliği (HV) üzerinde etkili olan parametrelerin incelenmesi amacıyla Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır.[21] Dört kontrol faktörü için dört seviye belirlenmiş olup, faktör ve seviye değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Deneyler, L16 (4^4) ortogonal deney dizisi kullanılarak Çizelge 2.2'de sunulan deney planına göre gerçekleştirilmiştir

Çizelge 2.1 Taguchi deney tasarımında kullanılan kontrol faktörleri ve seviye değerleri

Takım dönme devri	Uygulanan Yük	Bilye	Soğutma Sıvısı
250	100	Çelik	Yağlı
400	200	Tungsten Karbür	Yağsız
650	300		
800	400		

Çizelge 2.2 L16 (4^4) ortogonal deney dizisine göre oluşturulan deney planı

Deney sıra numarası	Takım dönme devri	Uygulanan Yük	Bilye	Soğutma Sıvısı	Ra	HV
1	250	100	Çelik	Yağsız	0,173	140
2	250	200	Çelik	Yağsız	0,142	155
3	250	300	Tungsten	Yağlı	0,111	160
4	250	400	Tungsten	Yağlı	0,135	162
5	400	100	Çelik	Yağlı	0,147	167
6	400	200	Çelik	Yağlı	0,126	162
7	400	300	Tungsten	Yağsız	0,081	183
8	400	400	Tungsten	Yağsız	0,122	170
9	650	100	Tungsten	Yağsız	0,144	167
10	650	200	Tungsten	Yağsız	0,124	169
11	650	300	Çelik	Yağlı	0,114	170
12	650	400	Çelik	Yağlı	0,179	159
13	800	100	Tungsten	Yağlı	0,15	163
14	800	200	Tungsten	Yağlı	0,127	168
15	800	300	Çelik	Yağsız	0,12	166
16	800	400	Çelik	Yağsız	0,2	141

2.10.2. Taguchi Deney Yöntemi ve S/N Oranlarının Hesaplanması

Yüzey pürüzlülüğü (Ra), minimum olması hedeflenen bir kalite karakteristiği olduğundan, bu çalışmada Taguchi yönteminde tanımlanan *Smaller-the-Better* yaklaşımı esas alınarak değerlendirilmiştir [22,23]. Her bir deney için Sinyal/Gürültü (S/N) oranları, Görsel 2.6'da verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S/N_{Ra} = -10\log_{10}(Ra^2)$$

Görsel 2.6 Yüzey Pürüzlülüğü (Ra), Sinyal/Gürültü (S/N) oranları

Buna karşılık, yüzey sertliği (HV) maksimum olması hedeflenen bir kalite karakteristiği olarak ele alınmış ve Larger-the-Better yaklaşımı kullanılmıştır. [22,23] Her bir deney için Sinyal/Gürültü (S/N) oranları, Görsel 2.7'de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

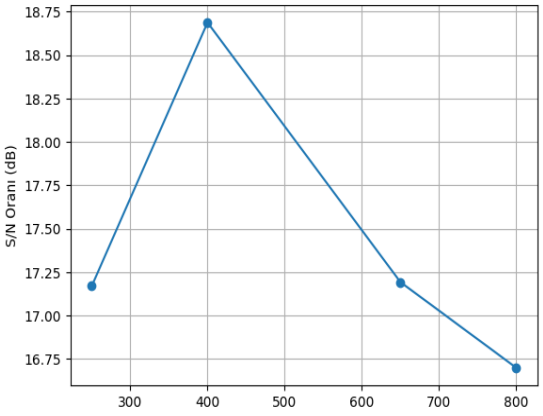
$$S/N_{HV} = 20\log_{10}(HV)$$

Görsel 2.7 Yüzey Sertliği (HV), Sinyal/Gürültü (S/N) oranları

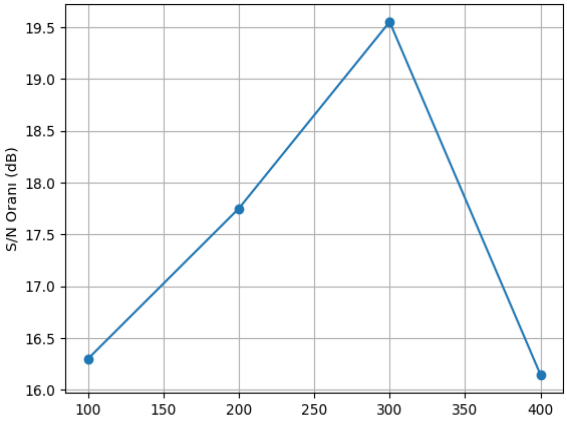
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) Üzerinde İşlem Parametrelerinin Etkisi

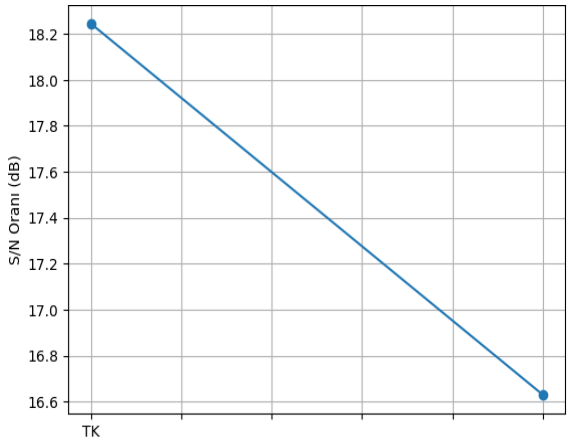
Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları kullanılarak, işlem parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri Taguchi ana etki grafikleri yardımıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen ana etki grafikleri, Görsel 3.1–Görsel 3.4'te sunulmuş olup, her bir kontrol faktörünün Ra değeri üzerindeki eğilimleri ve optimum seviye aralıkları açık biçimde ortaya konmuştur.



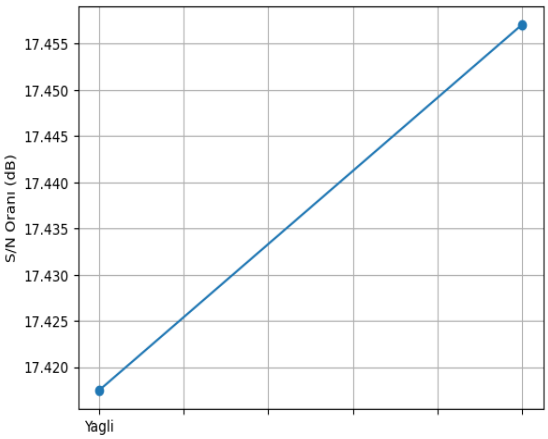
Görsel 0.1 Ra için Taguchi Ana etki grafiği - Devir



Görsel 0.2 Ra için Taguchi Ana etki grafiği- Yük



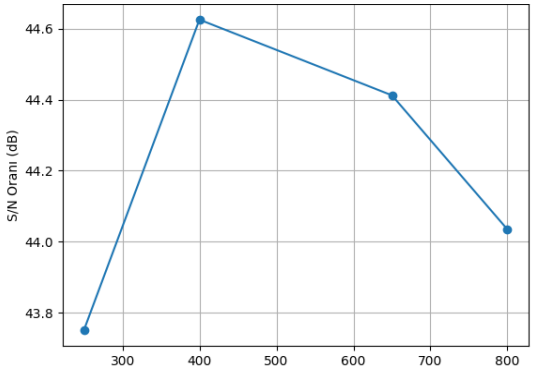
Görsel 0.3 Ra için Taguchi Ana etki grafiği Bilye



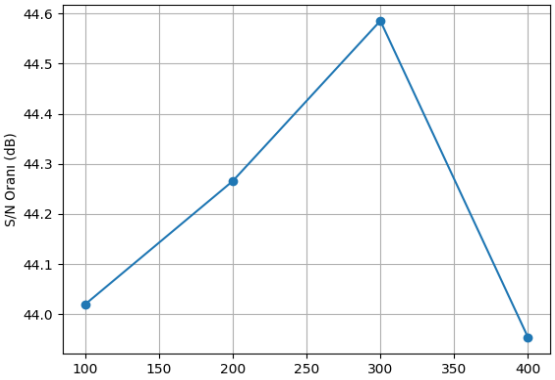
Görsel 0.4 Ra için Taguchi Ana etki grafiği- Yağlama

3.2. Yüzey Sertliği (HV) İçin Taguchi Ana Etki Analizi

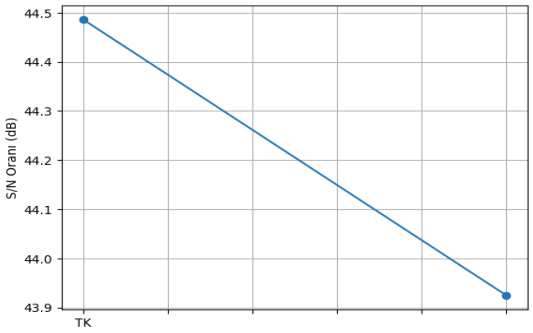
Yüzey sertliği (HV) için hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları kullanılarak, işlem parametrelerinin yüzey sertliği üzerindeki etkileri Taguchi ana etki grafikleri yardımıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen ana etki grafikleri, Görsel 3.5– Görsel 3.8'de sunulmuş olup, her bir kontrol faktörünün HV değeri üzerindeki eğilimleri ve optimum seviye aralıkları açık biçimde ortaya konmuştur.



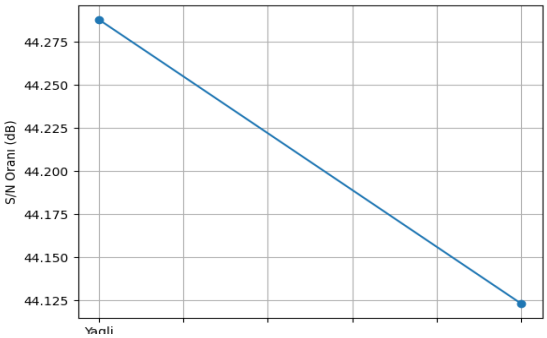
Görsel 0.5 HV için Taguchi Ana etki grafiği-Devir



Görsel 0.6 HV için Taguchi Ana etki grafiği-Yük



Görsel 0.7 HV için Taguchi Ana etki grafiği-Bilye



Görsel 0.8 HV için Taguchi Ana etki grafiği-Yağlama

3.3. Bulguların Literatür (Uzman Çalışmaları) ile Karşılaştırılması

S355J2B+N yapı çeliği üzerinde gerçekleştirilen ezerek parlatma deneylerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve yüzey sertliği (HV) sonuçları değerlendirilmiş; işlem parametrelerinin bu çıktılar üzerindeki etkileri literatür bulguları ile birlikte tartışılmıştır. Ezerek parlatma işlemi sonucunda, tüm deney koşullarında başlangıç yüzey pürüzlülüğüne kıyasla anlamlı bir iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. Uygulanan yükün düşük ve orta seviyelerinde, yük artışı ile birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlemlenmiştir.

Bu durum, bilye–yüzey temasında oluşan kontrollü plastik deformasyonun yüzeydeki mikrogeometrik düzensizlikleri giderdiğini göstermektedir. Ancak yük seviyesinin belirli bir

eşik değerin üzerine çıkmasıyla birlikte, yüzey pürüzlülüğündeki iyileşmenin sınırlı kaldığı ve bazı deney koşullarında yüzey kalitesinin olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiştir.

Deneysel sonuçlar, 300 N ve üzerindeki yük seviyelerinde yüzeyde lokal bozulmaların meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu bozulmaların, bilye ile iş parçası arasındaki temas bölgesinde oluşan yerel gerilmelerin malzemenin akma dayanımına yaklaşması veya bu değeri lokal olarak aşması sonucunda oluştuğu değerlendirilmektedir. Bu bulgu, ezerek parlatma işlemlerinde yük artışının her zaman yüzey kalitesini iyileştirmediğini ve optimum bir yük aralığının bulunduğunu göstermektedir.

Takım dönme devrinin etkisi incelendiğinde, düşük devirlerde temas süresinin artmasına rağmen yüzey iyileştirme etkisinin sınırlı kaldığı; yüksek devirlerde ise yüzeyde düzensiz deformasyonların oluşabildiği gözlemlenmiştir. Orta seviyedeki devir değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün minimum seviyelere ulaştığı belirlenmiş olup, bu durum takım devrinin yük ile birlikte değerlendirilmesi gereken önemli bir işlem parametresi olduğunu göstermektedir.

Yüzey sertliği ölçümleri, ezerek parlatma işleminin yüzey tabakasında belirgin bir pekleşme oluşturduğunu ortaya koymuştur. Uygulanan yükün artışıyla birlikte yüzey sertliğinde genel olarak artış eğilimi gözlenmiş; ancak yüksek yük seviyelerinde sertlik artışının doygunluğa ulaştığı ve yüzeyde düzensiz sertlik dağılımlarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum, aşırı plastik deformasyonun sertleşme mekanizmasını olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Bilye malzemesinin etkisi değerlendirildiğinde, tungsten karbür bilye kullanılan deneylerde, çelik bilyeye kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve daha yüksek yüzey sertliği değerleri elde edilmiştir. Tungsten karbür bilyenin yüksek sertliği ve elastik modülü sayesinde temas bölgesinde daha yüksek gerilmeler oluşturduğu ve bu durumun yüzey iyileştirme etkinliğini artırdığı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, yüksek sertlik nedeniyle özellikle yüksek yük seviyelerinde yüzey bozulma riskinin arttığı da gözlemlenmiştir.

Yağlama koşullarının etkisi incelendiğinde, yağlı deneylerde sürtünmenin azalmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün daha kararlı bir iyileşme gösterdiği; yağsız koşullarda ise özellikle yüksek yük ve devir kombinasyonlarında yüzey bozulmalarının daha belirgin hâle geldiği belirlenmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

4.1. GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda oluşturulan genel değerlendirme aşağıda sunulmaktadır:

- S355J2B+N yapı çeliği için ezerek parlatma uygulamalarında, yüzey bütünlüğünün korunması amacıyla **300 N'un üzerindeki yük değerlerinden kaçınılması** önerilmektedir.
- Tungsten karbür bilye kullanımı, yüksek yüzey sertliği ve düşük pürüzlülük gerektiren uygulamalar için uygun olmakla birlikte, işlem parametreleri dikkatle optimize edilmelidir.
- Gelecek çalışmalarda, farklı bilye çapları, çok geçişli parlatma stratejileri ve farklı yağlama türleri incelenerek yüzey iyileştirme performansı daha ayrıntılı olarak araştırılabilir.
- Mikrosertlik, artık gerilme ve mikroyapı analizleri gibi ilave ölçüm teknikleri kullanılarak, yüzey tabakasında meydana gelen değişimler daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilir.

4.2. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, S355J2B+N yapı çeliği üzerinde uygulanan ezerek parlatma işleminin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Ezerek parlatma işlemi, S355J2B+N yapı çeliğinde yüzey pürüzlülüğünün azalmasını ve yüzey sertliğinin artmasını sağlamıştır.
- Uygulanan yük, yüzey iyileştirme performansı üzerinde en etkili işlem parametrelerinden biri olarak belirlenmiştir.
- Yaklaşık 300 N yük seviyesi, yüzey bütünlüğü açısından kritik bir eşik oluşturmuş; bu değerin üzerinde yüzeyde lokal bozulmalar meydana gelmiştir.
- Tungsten karbür bilye kullanımı, çelik bilyeye kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve daha yüksek yüzey sertliği değerleri sağlamıştır.
- Yağlı işlem koşulları, özellikle yüksek yük ve devirlerde yüzey bütünlüğünün korunmasına olumlu katkı sağlamıştır.
- Taguchi yöntemi ile yapılan değerlendirmeler, yük ve bilye malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ve sertlik üzerinde baskın parametreler olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. T. Çalışkan, “Metal yüzey işleme yöntemlerinin mukavemet ve yüzey kalitesine etkileri,” Politeknik Dergisi, 2022.
2. Akkurt A, Ovalı İ, Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg 2009; 15; 371–382.
3. Yılmaz, “Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği ilişkisi üzerine deneysel bir araştırma,” Makine Teknolojileri Dergisi, 2021.
4. M. Özkan, “Ezerek parlatma: prensipler ve uygulama alanları,” Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2022.
5. B. Buldum, “AZ31B magnezyum alaşımının bilyalı parlatma yöntemi ile mikrosertlik ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması,” Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 6, no. 1, pp. 152–161, 2018.
6. H. Başak, “Haddeleme (galetaj) ile 5083 Al-Mg malzeme yüzeyinin işlenmesi; hadme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine etkilerinin incelenmesi,” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, 2015.
7. M. Çelik, “Ezerek parlatma yönteminin Inconel 718 alaşımının yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin araştırılması,” Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2023.
8. S. Toker, E. Battal, Z. Demir, K. Çevik, “Mikrodeformasyon ile yüzey özellikleri değiştirilmiş 316L paslanmaz çeliğin sentetik vücut sıvısı ile etkileşimi,” Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2020.
9. H. Demir, A. Güllü, “Taş sertliği ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve taşlama kuvvetlerine etkilerinin incelenmesi,” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2008.
10. H. Çalımlı, A. Güllü, “Lepleme işleminde iş malzemesi sertliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi,” Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2004.
11. 5. Patel, P. N., Patel, N. B., & Patel, T. M. (2014). Parametric Optiniization of Bali Burnishing Process Parameter for Hardness of Aluminum Alloy 6061. IOSR Journal of Engineering (lOSRJEN), 4
12. Revankar, G. D., Shetty, R., Rao, S. S., & Gaitonde, V. N. (2014). Analysis of surface roughness and hardness in ball burnishing of titanium alloy. Measurement, 58, 256-268.55541
13. T. Demirel, “Manyetik aşındırıcı tozlar yardımıyla metal yüzeylerin parlaklığını optimize etmede işlem parametrelerinin etkisi,” UMUFED, 2023.
14. M. Özdemir, “Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin etki oranlarının analiz edilmesi,” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, 2019.
15. U. Özlü, M. Akgün, H. Demir, “Orta karbonlu DIN 41Cr4 çeliğin mikroyapısı, sertliği ve işlenebilirliği üzerine sıcak dövme ve soğutma koşullarının etkilerinin değerlendirilmesi,” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2023.
16. Bourebia, M., Hamadache, H., Lakhdar, L., Kamila, D., & Tarek, H., Effect of Surface Mechanical Treatment on Mechanical Properties and Impact Behavior of S355JR Steel, Journal of Materials Engineering and Performance, 2019
17. Can Çivi, H. Erçay,“Çelik sektöründe güvenirlikli üretim ve örnek bir uygulama: S355JR (EN 10025-2) çeliği akma ve kopma dayanımı güvenirlik analizi,” Politeknik Dergisi, 2020.
18. EN 10025-2:2019, Hot Rolled Products of Structural Steels – Part 2: Technical Delivery Conditions for Non-Alloy Structural Steels, European Committee for Standardization (CEN), Brussels.

19. Şahin,B.,“Burnishing işleminde işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve sertlik üzerine etkilerinin incelenmesi,” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 21, sayı 6, ss. 249–256, 2015.
20. Özer,T, Kalkan., H., “MS58 alaşımında delik içi ezerek parlatma işleminin yüzey pürüzlülüğü ve sertlik üzerine etkilerinin incelenmesi,” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 20, sayı 4, ss. 141–148, 2014.
21. Taguchi, G., *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1986.
22. Taguchi, G., Chowdhury, S., Wu, Y., Taguchi’s Quality Engineering Handbook, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2005.
23. Ross, P. J., Taguchi Techniques for Quality Engineering, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1996.

STRUCTURAL PROPERTİES OF ST14 STEEL JOİNED BY FRİCTİON STİR WELDİNG

Assist. Prof. Dr. Semih Mahmut AKTARER
Recep Tayyip Erdogan University, Technical Sciences Vocational School, Department of Automotive Technology
semih.aktarer@erdogan.edu.tr- 0000-0001-5650-7431

ABSTRACT

In this study, 1.5 mm thick St14 steel sheets were butt-joined using the friction stir welding method. The welding process was carried out using a tungsten carbide tool with a shoulder diameter of 14 mm and a pin diameter of 5 mm, under a rotational speed of 800 rpm, a traverse speed of 80 mm/min, a tool tilt angle of 2°, and an axial force of 6 kN. Microstructural characterization of the welded samples was performed using optical microscopy, and grain size and aspect ratio values were quantitatively determined through image analysis software. Mechanical properties were evaluated by Vickers microhardness measurements and tensile tests conducted parallel and perpendicular to the welding direction. Microstructural investigations revealed that fine, nearly equiaxed ferrite grains were formed in the stir zone as a result of dynamic recrystallization. Correspondingly, the average hardness in the stir zone increased by approximately 75% compared to the base material. Tensile test results indicated a pronounced improvement in strength within the welded region. The tensile strength increased by approximately 72% in the direction perpendicular to the weld and by about 57% along the welding direction compared to the base material. Similarly, the yield strength increased by nearly 90% in the welded region. In contrast, total elongation values showed a reduction of approximately 40–70% relative to the base material. This reduction is attributed to the limited strain hardening capacity associated with the increased strength resulting from grain refinement. Overall, the findings demonstrate that friction stir welding significantly enhances the strength of St14 steel while causing a controlled reduction in ductility.

Keywords: Friction Stir Welding, St14 Steel, Microstructure, Mechanical Properties, Grain Refinement.

FİZYOLOJİK ORTAMDA CaO_2 NANOPARTİKÜLLERİNİN OKSİJEN SALIM DAVRANIŞINDA STABİLİZATÖR VE KATALİZÖRLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Elif YAĞLI
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Fatih TURAN
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği
fatih.turan@deu.edu.tr– ORCID: 0000-0002-9969-0405

Prof. Dr. Aylin M. DELİORMANLI
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
aylin.deliormanli@cbu.edu.tr – ORCID: 0000-0001-7877-7635

ÖZET

Çalışmada, kalsiyum peroksit (CaO_2) nanopartiküllerinin sentezi farklı stabilizatörlerin (polivinil alkol-PVA, tannik asit-TA, polivinil prolidon-PVP) varlığında gerçekleştirilmiş ve oksijen salım davranışı farklı katalizörlerin (Pt ve γ-Fe_2O_3 nanopartikülleri, katalaz enzimi) etkisi altında incelenmiştir. CaO_2 nanopartikülleri, sabit PVA miktarı ile $Ca(OH)_2$ kullanılarak sentezlenmiş olup alternatif olarak sentezde TA ve TA/PVP birlikte kullanımı değerlendirilmiştir. Üretilen nanopartiküller FTIR spektroskopisi ve XRD ile karakterize edilmiş, kimyasal yapı ve kristal faz oluşumu analiz edilmiştir. Oksijen salımı, farklı CaO_2 miktarları (5, 10 ve 20 mg) kullanılarak PBS (pH 7.4) ortamında ölçülmüş ve katalizörlerin etkisi araştırılmıştır. 5 mg CaO_2 örneklerinde elde edilen çözünmüş oksijen profilleri, sensörün ölçüm aralığında daha düzenli ve tekrarlanabilir sinyaller vermiştir. Yüksek miktarda TA içeren sistemlerde, TA'nın CaO_2 yüzeyine güçlü yüzey etkileşimi sonucu yüzey pasivasyonunun artmasıyla oksijen salımının birçok durumda yalnızca PVA ile stabilize edilmiş örneklere göre düşük kaldığı gözlenmiştir. Daha düşük miktarda TA içeren sistemler küçük CaO_2 nanopartikülleri oluşturarak başlangıçta yüksek oksijen salımı sağlarken, PVP yüzey kaplamasıyla ani oksijen salımını yavaşlamış ve salım profili stabilize edilmiştir. TA/PVP birlikte kullanımı, hızlı başlangıç oksijen üretimi, tekrarlanabilir ve dengeli salım kinetiği sunmuştur. Katalizör eklenmesi, özellikle 10 mg CaO_2 içeren sistemlerde H_2O_2 birikimini önleyerek daha düzgün oksijen salım profilleri elde edilmesini sağlamıştır. Sonuçlar, CaO_2 nanopartiküllerinin oksijen salım davranışının yalnızca nanopartikül miktarına değil, aynı zamanda sentezde kullanılan stabilizatör kompozisyonu, yüzey kimyası ve katalizör ile etkileşimine bağlı olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: CaO_2 nanopartikülleri, oksijen salımı, stabilizatörler, TA, PVP, katalizör

1. GİRİŞ

Son yıllarda hücrelerin hipoksik ortamda hayatta kalmasını desteklemek ya da mikroçevrede oksijen düzeyini artırmak için oksijen salabilen malzemelerin geliştirilmesi dikkat çekmektedir [1-3]. Kalsiyum peroksit (CaO_2) nanopartikülleri, sulu ortamda hidrojen peroksit (H_2O_2) üretimi ve sonrasında oksijen açığa çıkarma yetenekleri nedeniyle biyomedikal uygulamalarda ve doku mühendisliği alanında önemli bir oksijen kaynağı olarak görülmektedir [4, 5]. CaO_2, su ile ya da asidik/enzimatik ortamlarda reaksiyona girerek H_2O_2 ve O_2 açığa çıkarmakta, aynı zamanda Ca^{2+} iyonu salımı gerçekleştirmektedir [1].

Bu oksijen salım davranışının kontrolü, yalnızca CaO_2'nin miktarına değil, aynı zamanda nanopartikül sentez parametrelerine, yüzey stabilizasyonuna ve kullanılan katalizörlere bağlıdır [6]. Polimerik stabilizatörler (polivinil alkol-PVA, polivinil pirolidon-PVP) ve polifenolik moleküller (tannik asit) CaO_2 nanopartiküllerinin yüzey özelliklerini değiştirerek hem parçacık stabilitesini hem de oksijen salım kinetiğini etkileyebilmektedir [6, 7]. Polimer stabilizasyonunun oksijen salım kinetiğini düzenleyerek ani H_2O_2 birikimini azaltabildiği gösterilmiştir. Chen vd.[8] tarafından yapılan bir çalışmada PVP ile kaplanan CaO_2 nanopartiküllerinin, kaplama sayesinde H_2O_2 salım kinetiğinin değiştiği ve kontrollü salım sağlandığı gösterilmiştir. PVP kaplama, H_2O_2 üretim hızını yavaşlatırken pH dalgalanmalarını azaltmış, kaplamanın kalınlığı arttıkça kontrollü salımın sürdürülebilirliğini de arttırmıştır [8].

Diğer yandan tannik asit (TA) gibi biyomoleküller, CaO_2 sentezi sırasında Ca^{2+} iyonlarıyla koordinasyon bağları oluşturarak nanopartiküllerin yapısını ve boyutunu kontrol etmektedir [9]. Park ve ark. [6] tarafından yapılan bir çalışmada tannik asit ile stabilize edilmiş CaO_2 nanopartiküllerinin sentezi yapılmış, farklı TA miktarlarının oksijen üretimindeki etkileri gösterilmiş, daha düşük TA oranlarının daha yüksek oksijen üretimi sağladığı rapor edilmiştir.

Bununla birlikte, CaO_2 tarafından üretilen H_2O_2, hücresel düzeyde toksik ve oksijen salım kinetiğinde düzensizliğe neden olabilmektedir. Bu nedenle H_2O_2'nin hızlı oksijene dönüştürülmesi, katalizör kullanımı ile sağlanabilmektedir. Özellikle katalaz enzimi ve metalik katalizörler (örneğin Pt veya metal oksit nanopartikülleri) H_2O_2 ayrışmasını hızlandırarak daha düzenli ve kontrollü bir oksijen salımı elde edilmesine yardımcı olmaktadır [10,11].

CaO_2 nanopartiküllerinin biyomedikal uygulamalarda kullanılabilmesi için, sadece oksijen salım kapasitesi değil, aynı zamanda salım kinetiğinin dengelenmesi ve H_2O_2 birikiminin engellenmesi de kritik öneme sahiptir. Stabilizatör seçimi, yüzey kimyası ve katalizör etkileşimi bu bağlamda oksijen salım davranışını belirleyen parametrelerdir. Bu çalışmanın amacı, farklı stabilizatör kombinasyonlarının (PVA, TA, PVP) ve katalizörlerin (Pt ve γ-Fe_2O_3 nanopartikülleri, katalaz) CaO_2 nanopartiküllerinin oksijen salım özellikleri üzerindeki etkilerini incelemektir.

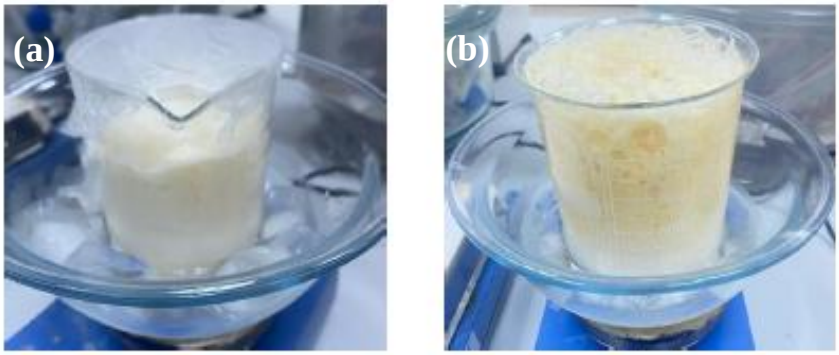
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1.Kalsiyum Peroksit Nanopartikül Sentezi

Çalışmada kullanılan $Ca(OH)_2$ (239232 ACS reagent, ≥95.0%), polivinil alkol (87-90% hidrolize, M_w 30.000-70.000), PVP (M_w 40000), tannik asit ($C_{76}H_{52}O_{46}$, Sigma- 403040 ACS reagent grade) ve H_2O_2 solusyonu (30 wt. % H_2O, ACS reagent) Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir.

Kalsiyum peroksit nanopartiküllerin sentezi hidroliz-çöktürme yöntemi ile [12,13] gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 6 g $Ca(OH)_2$ 120 mL deiyonize su içinde çözülerek 0.096 g polivinil alkol (PVA) bu çözeltiye eklenip oda sıcaklığında 1 saat karıştırılmıştır. Ardından 63.46 mL %30 H_2O_2 sulu çözeltisi sürekli karıştırılarak yavaşça bu karışıma damla damla eklenmiş ve 15 dakika boyunca buz banyosunda CaO_2 nanopartikülleri oluşana dek karıştırılmaya devam edilmiştir. Reaksiyon tamamlandığında, karışımda katı-sıvı ayrımı için santrifüj uygulanmış ve oluşan nanopartiküller deiyonize su ve izopropanol ile yıkanarak kurutulmuştur.

Tannik asit içeren sistemlerde, TA ilavesi 0.01, 0.025, 0.05 ve 0.1 gram olacak şekilde yapılmıştır. İlaveler, PVA eklenmesinden sonra gerçekleştirilmiş ardından 10 dakika ultrasonik homojenizatör kullanılarak, dispersiyon sağlanmış, bu süreç tamamlandıktan sonra da H_2O_2 eklemesi yapılmıştır (Görsel 1). Aynı yöntem PVP içeren örneklerin hazırlanmasında da takip edilmiştir. Çalışma kapsamında CaO_2 sentezinde kullanılan stabilizatör kombinasyonları Çizelge 1'de gösterilmektedir.



Görsel 1. (a) TA içermeyen, (b) 0.01 TA içeren CaO_2 sentezi ait fotoğraflar.

Çizelge 1. Projede kullanılan stabilizatör kombinasyonları ve miktarları

PVA Sbt	PVA ve TA içeren CaO_2 NP			
TA (gr)	0.01	0.025	0.05	0.1
PVA Sbt	PVA, TA ve PVP içeren CaO_2 NP			
TA (gr)	0.01	0.01	0.025	0.1
PVP (gr)	0.01	0.025	0.01	0.01

2.2. Karakterizasyonlar

2.2.1. Yapısal Özellikler

Çalışma kapsamında sentezlenen nanotozların yapısal özellikleri FTIR-ATR spektrometresi (Thermo Nicolet, IS20) ile morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM, Zeiss Gemini 500) ile incelenmiştir. Hazırlanan nanopartiküllerin, kristal yapısı X-ışını difraktometresi (PANanalytical, Empyrean) ile analiz edilmiştir.

2.2.2. Oksijen Salımı

Hazırlanan nanopartiküller farklı konsantrasyonlarda (5, 10, 20 mg), pH değeri 7.4 olan 15 ml fosfat tamponlu salin (PBS) içerisinde tutularak zamana bağlı olarak fizyolojik sıvıların çözünmüş oksijen seviyelerindeki değişim O_2 metre (WTW 9310, FDO 925 probu ile) kullanılarak ölçülmüştür.

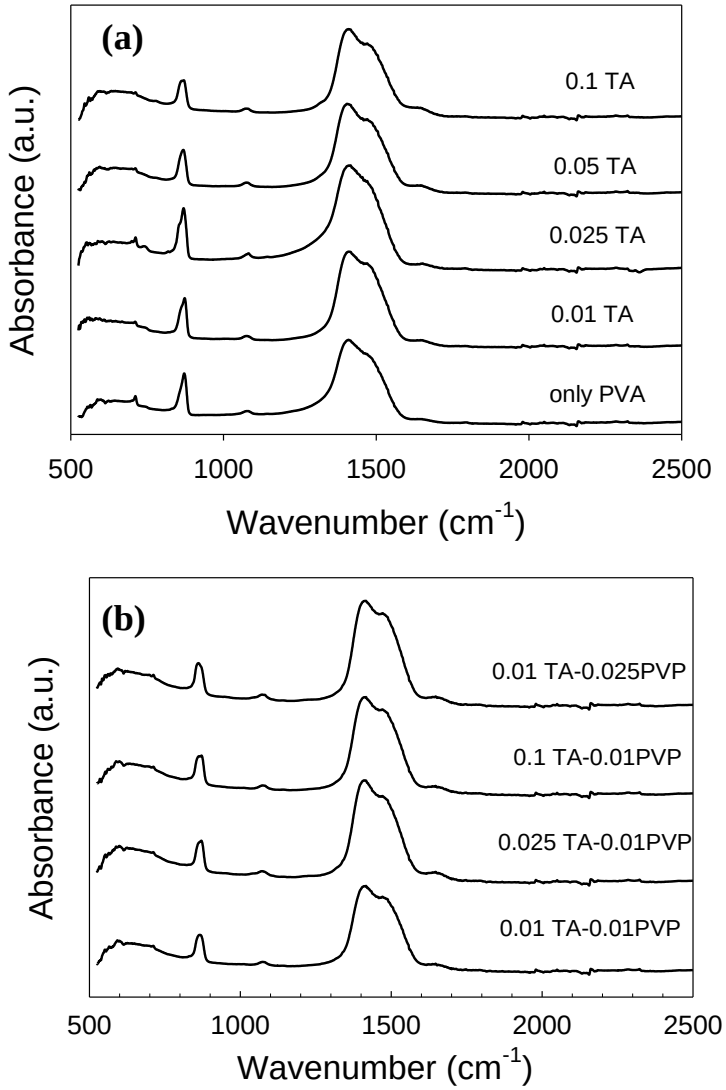
Sentezlenen CaO_2 nanopartiküllerinin farklı katalizörler varlığında O_2 üretim seviyesindeki değişikliği incelemek için Pt nanopartikülleri, PtNP, (etanolün indirgeyici ajan olarak kullanıldığı klasik yöntemle sentezlenmiş, kristalit boyutu ~3-4 nm, sentez sıcaklığı 110 °C), maghemit nanopartikülleri (γ-Fe_2O_3, d_{50}:~10 nm) ve katalaz (Qlp Antiperoksit Katalaz Enzimi, TR) kullanılmıştır. Ölçümler PBS ortamında (15 ml) gerçekleştirilmiştir. Katalizörler varlığında CaO_2 nanopartiküllerinin O_2 üretim davranışı ayrıca inverted mikroskop (Nikon TS2-FL) kullanılarak incelenmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

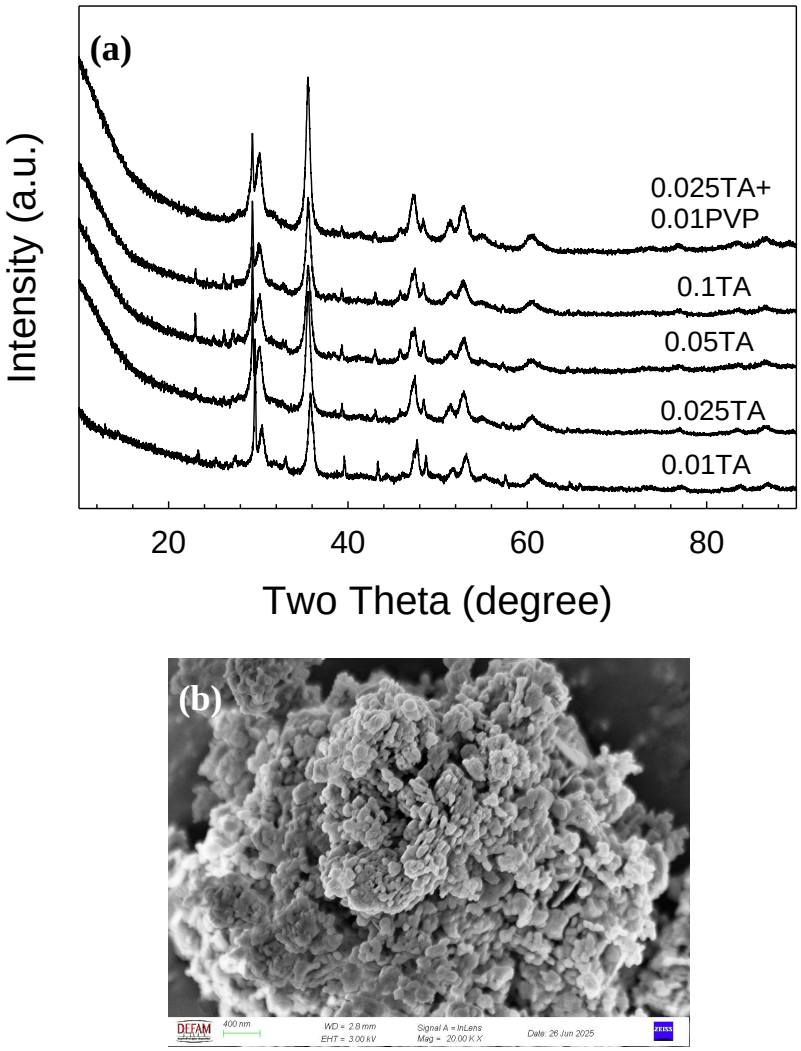
Sentezlenen örneklerin FTIR spektrumunda 500–2500 cm^{-1} aralığında gözlenen absorpsiyon bantları, sentezlenen CaO_2 nanopartiküllerinin kimyasal bağ yapısını açıklamaktadır. Görsel 2'de verilen FTIR spektrumlarında 500–700 cm^{-1} civarında görülen bantlar, CaO_2'nin Ca–O bağ gerilmelerine karşılık gelmektedir. Diğer yandan 863–871 cm^{-1} arası bantlar, CaO_2'ye özgü peroksit (O–O) gerilme titreşimleri ile ilişkilidir [14]. 1083 cm^{-1}'de bulunan küçük absorbsiyon piki karbonat iyonu (CO_3^{2-}) grubunun varlığını göstermektedir ancak bu tepe noktası spektrumlarda oldukça düşük şiddettedir. 1430 cm^{-1}'deki daha geniş bant, CaO_2'deki O-Ca-O bağlarına karşılık gelmektedir [15].

Görsel 3'de verilen XRD patterninde (002), (110), (112), (103) ve (202) düzlem yansımaları mevcuttur ve JCPDS dosyası (No:03-0865) için referans desenlerle eşleşmektedir [16]. XRD piklerinin genişliği, nanopartiküllerin küçük kristalit boyutları olduğunu ve stabilizatör ile sentez koşullarının nükleasyon/çekirdeklenme süreçlerini etkilediğini göstermektedir. Bazı örneklerde pik şiddetindeki artış, kristal fazın daha iyi gelişmesine bağlanmıştır ve bu durum stabilizatör-CaO_2 etkileşiminin etkinliğini yansıtmaktadır. Stabilizatörler ile birlikte sentezlenen sistemlerde oluşan değişiklikler, literatürde PEG veya PVP gibi polimer kaplamaların nanopartikül boyutu etkilediğini gösteren bulgularla uyumludur [17]. Sentezlenen CaO_2 nanopartiküllerinin ortalama kristalit boyutu, Debye-Scherrer denklemine göre XRD deseninden [(110) düzlemine göre] hesaplanmıştır. Buna göre TA içeren nanopartiküllerin kristalit boyutu 12.3 nm- 14.3 nm arasında olup, artan TA miktarı ile birlikte kristalit boyutunda bir miktar küçülme olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 2). Diğer yandan TA ve PVP içermeyen CaO_2

nanopartiküllerinin SEM görüntüsü Görsel 3-b'verilmiştir. Buna göre TA ve PVP olmadan sentezlenen partiküllerin tane boyutu 50-150 nm aralığındadır.



Görsel 2. Çalışma kapsamında farklı stabilizatörler (a) tannik asit-TA, (b) tannik asit/polivinil prolidon-TA/PVP varlığında sentezlenen CaO_2 nanopartiküllerinin FTIR spektrumları.



Görsel 3. (a) Çalışma kapsamında farklı stabilizatörler varlığında sentezlenen CaO_2 nanopartiküllerinin XRD desenleri, (b) sadece PVA içeren örnek SEM mikrografı.

Çizelge 2. CaO_2 nanopartiküllerinin XRD deseninden elde edilen kristal özellik parametreleri.

(110) Düzlemi	FWHM (Pik yarı yükseklik)	Kristalit büyüklüğü (nm)
0.01 TA	0.6087	14.33
0.025 TA	0.6458	13.51
0.05 TA	0.7070	12.33
0.1 TA	0.7065	12.34

Görsel 4'de verilen PBS çözünmüş oksijen (DO) konsantrasyonunu gösteren grafikler, stabilizatör kompozisyonunun hem oksijen salım hızı hem de maksimum DO seviyesi üzerinde belirleyici olduğunu göstermiştir. Görsel 4(a) 'da gösterilen toz miktarının etkisi incelendiğinde, 5 mg ve 10 mg CaO_2 arasında belirgin bir fark ortaya çıkmıştır. 5 mg örnekler

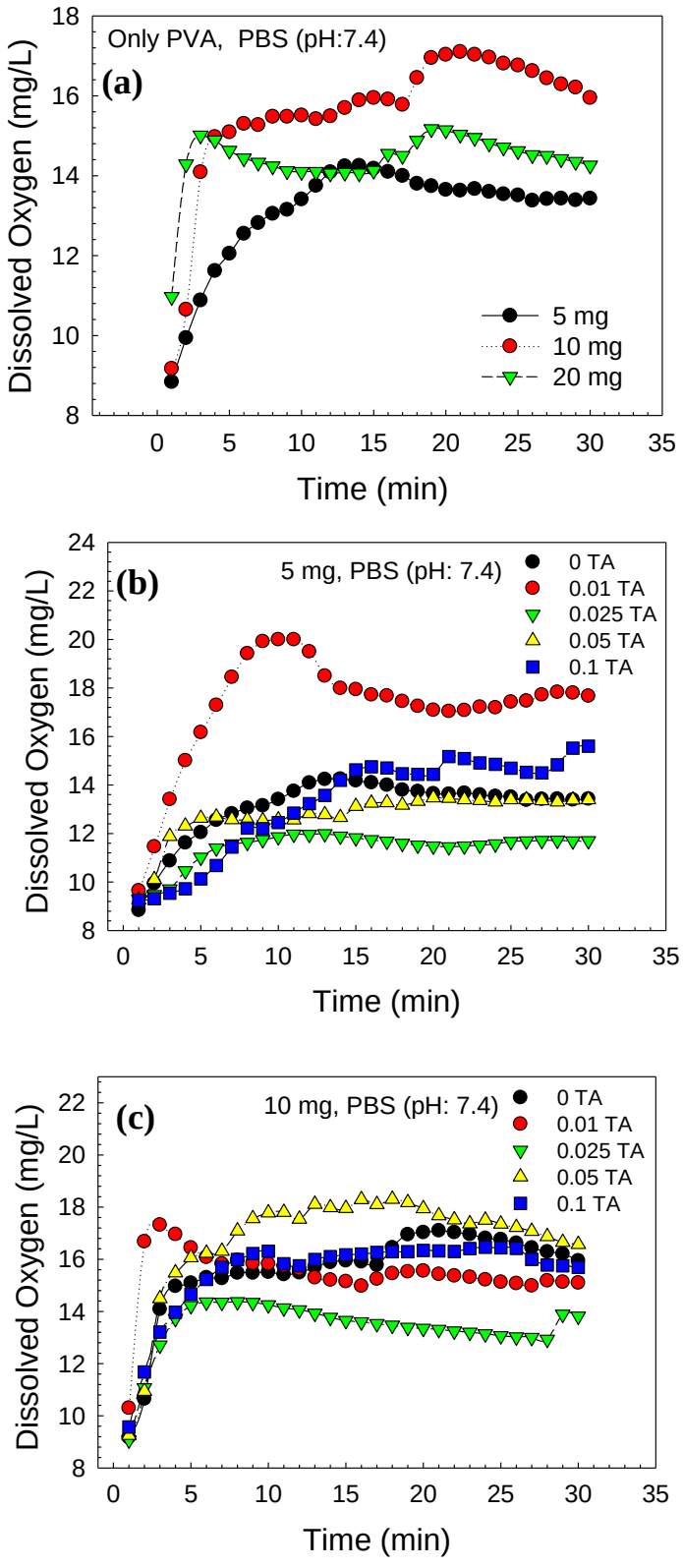
daha hızlı bir başlangıç oksijen artışı göstermiş, ancak ulaşılan maksimum DO seviyeleri sınırlı kalmıştır. Buna karşılık 10 mg CaO_2 içeren sistemler, daha yavaş bir başlangıç kinetiğine sahip olmakla birlikte daha yüksek ve kararlı DO plato değerlerine ulaşmıştır. Bu durum, oksijen üretiminin yalnızca yüzey reaksiyon hızına değil, aynı zamanda ortamda mevcut toplam CaO_2 miktarına da bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla kısa süreli ve hızlı oksijen gereksinimi olan uygulamalar için 5 mg yeterli olabilirken, daha uzun süreli ve yüksek oksijen kapasitesi gerektiren uygulamalar açısından 10 mg CaO_2 daha optimum bir doz olarak değerlendirilmektedir. 20 mg CaO_2 seviyesinde ise DO konsantrasyonunda düşüş gözlenmiştir.

Yalnızca PVA içeren sistemlerde oksijen salımı nispeten daha yavaş ve sınırlı kalırken, TA ilavesiyle birlikte DO değerlerinde belirgin bir artış gözlenmiştir (Görsel 4-b). TA miktarının arttırılması, CaO_2 yüzeyinin daha hidrofilik ve reaktif hâle gelmesine yol açmış, bu durumun su ile temas eden aktif yüzey alanını arttırarak CaO_2'nin parçalanma kinetiğini hızlandırmış olabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak TA miktarının çok yüksek olduğu sistemlerde oksijen salımının erken zamanlarda hızlı olmasına karşın daha kısa sürede plato yapması, aşırı yüzey reaktivitesinin CaO_2'nin hızlı tüketimine yol açtığını düşündürmektedir.

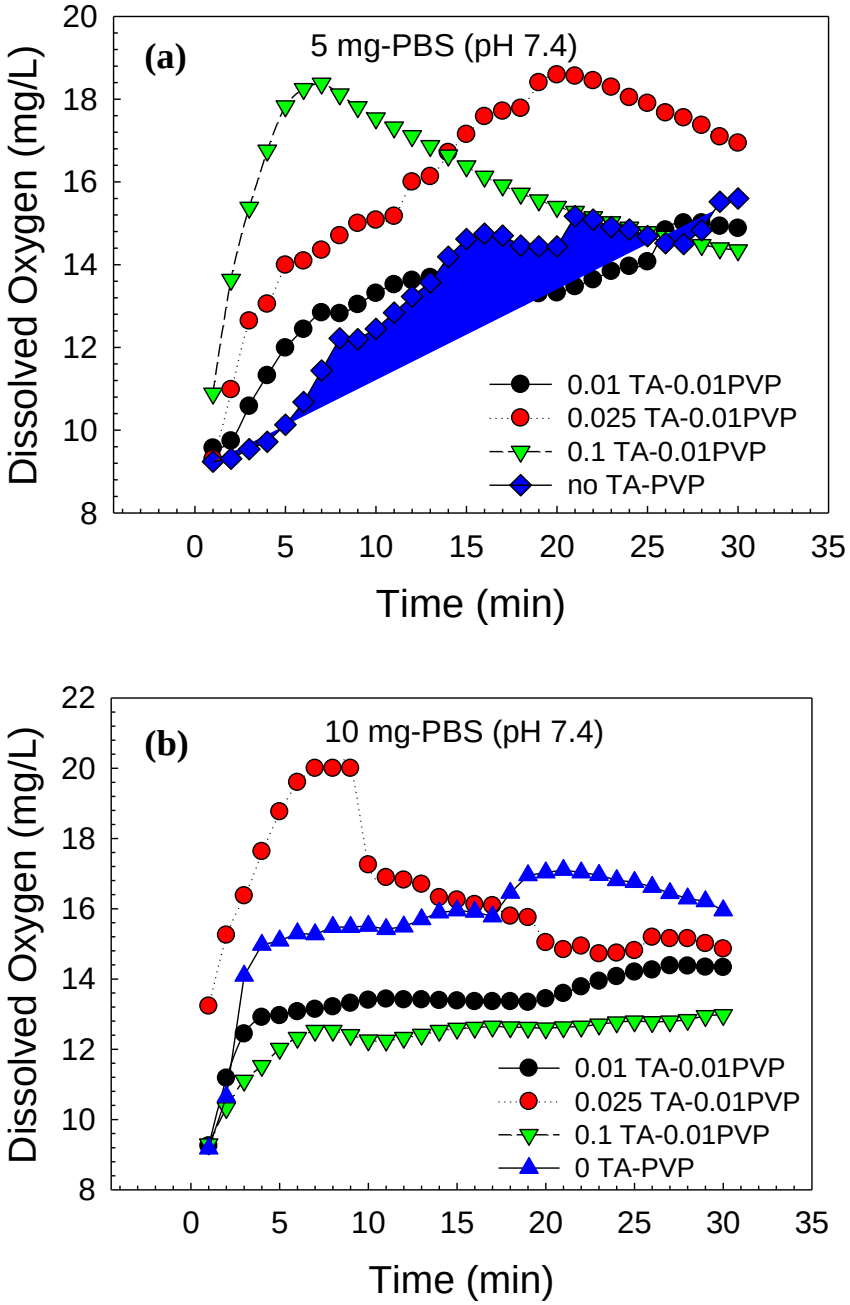
TA ve PVP'nin birlikte kullanıldığı durumda ise daha dengeli bir oksijen salım profili elde edilmiştir (Görsel 5). Bu durum, TA'nın kimyasal aktivasyonu ile PVP'nin sağladığı sterik stabilizasyonun sinerjik etkisine bağlanabilir. TA, CaO_2'nin oksijen üretme kapasitesini arttırırken PVP, nanopartiküllerin homojen dağılmasını sağlayarak ani ve kontrolsüz parçalanmayı sınırlandırmıştır. Sonuç olarak TA/PVP içeren örneklerde hem yüksek maksimum DO seviyeleri hem de daha sürdürülebilir salınım kinetiği elde edilmiştir.

Görsel 6'da verilen DO konsantrasyon değişimi profilleri incelendiğinde TA-PVP stabilizatör kombinasyonu ile sentezlenen CaO_2 nanopartiküllerinde artan PVP miktarının oksijen salım hızını yavaşlattığı görülmektedir. Bu durum artan konsantrasyon ile birlikte CaO_2 nanopartiküllerinin etrafını saran PVP kabuk kalınlığının artmış olabileceğine işaret etmektedir.

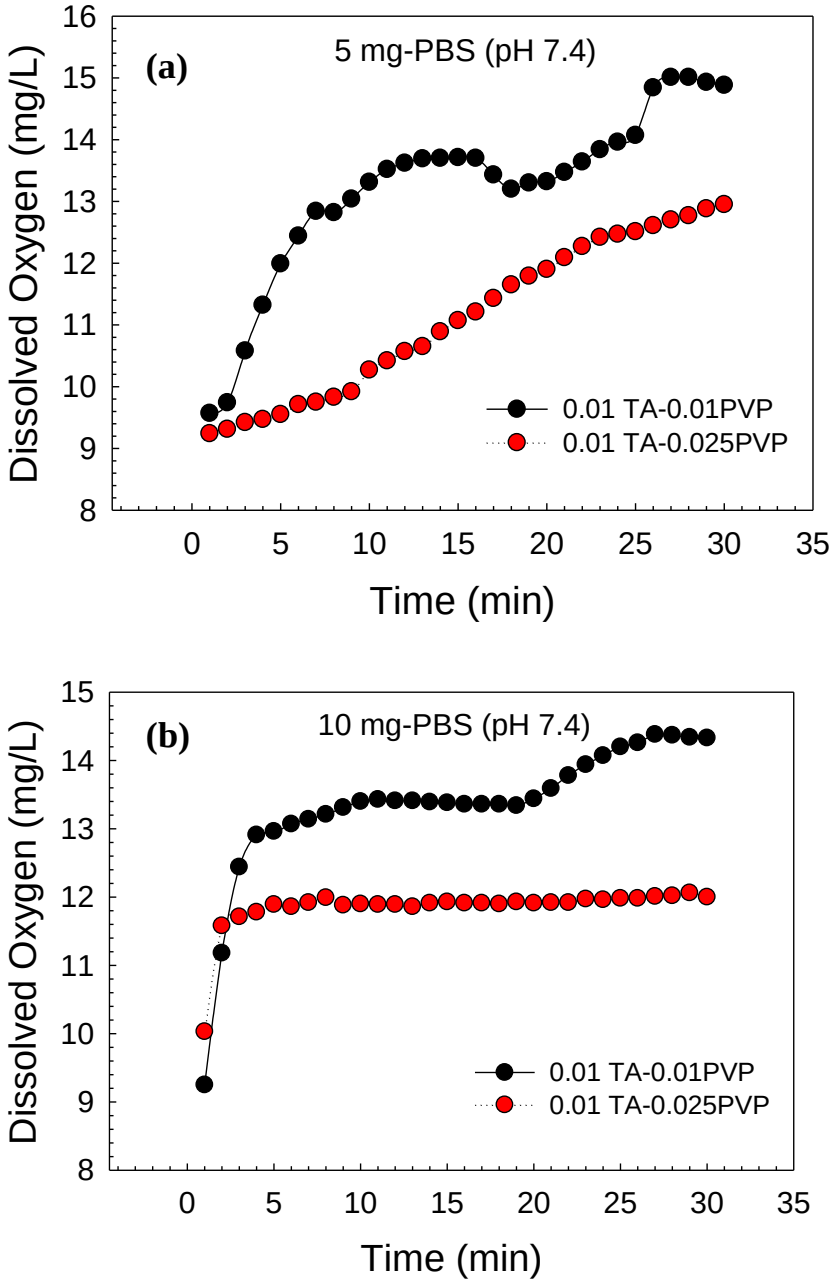
Görsel 7'de yer alan grafikte CaO_2 nanopartiküllerinin PBS ortamında farklı katalizörlerin varlığında oksijen salım kinetikleri karşılaştırılmıştır. Pt nanopartiküllerinin (2 mg) eklenmesi, oksijen salım hızını belirgin şekilde artırarak, 10 dakikanın altında oksijen konsantrasyonunun maksimuma (yaklaşık 20 mg/L) ulaşmasını sağlamıştır. Buna karşın γ-Fe_2O_3 nanopartiküllerinin (10 mg) etkisi daha yavaş bir oksijen salım profili ortaya koymuş ve maksimum oksijen doygunluğuna ulaşmak yaklaşık 20 dakika sürmüştür. Katalaz enzimi (500 µL) ile yapılan ölçümde ise Pt NP ile benzer hızlı oksijen salım kinetiği elde edilmiştir. Katalizörsüz 10 mg CaO_2 sistemlerinde dalgalı ve yüksek sinyaller gözlenirken, katalizör ilavesiyle oksijen salım profillerinin belirgin şekilde stabilleştiği görülmüştür. Bu durum, yüksek CaO_2 miktarlarında ölçüm sinyalinin H_2O_2 birikimi ve lokal reaksiyon şiddetinden etkilendiğini katalizör varlığında ise H_2O_2'nin hızla O_2'ye dönüştürülerek daha kararlı ve güvenilir DO profilleri elde edildiğini göstermektedir. Ayrıca Görsel 8'de yer alan optik mikroskop görüntüleri katalizörler varlığında gaz oluşumu gerçekleştiğini kanıtlamaktadır.



Görsel 4. Çalışma kapsamında sentezlenen CaO_2 nanopartiküllerinin PBS ortamında zamana bağlı oksijen salım hızlarını gösteren grafikler (a) farklı miktarlarda CaO_2 ve 15 ml PBS içeren süspansiyon; TA ile sentezlenen örneklerin O_2 üretim seviyeleri (b) 5 mg örnek-15 ml PBS, (c) 10 mg örnek-15 ml PBS.



Görsel 5. TA/PVP ile sentezlenen örneklerin O_2 üretim seviyelerini gösteren grafikler (a) 5 mg örnek-15 ml PBS, (b) 10 mg örnek-15 ml PBS.



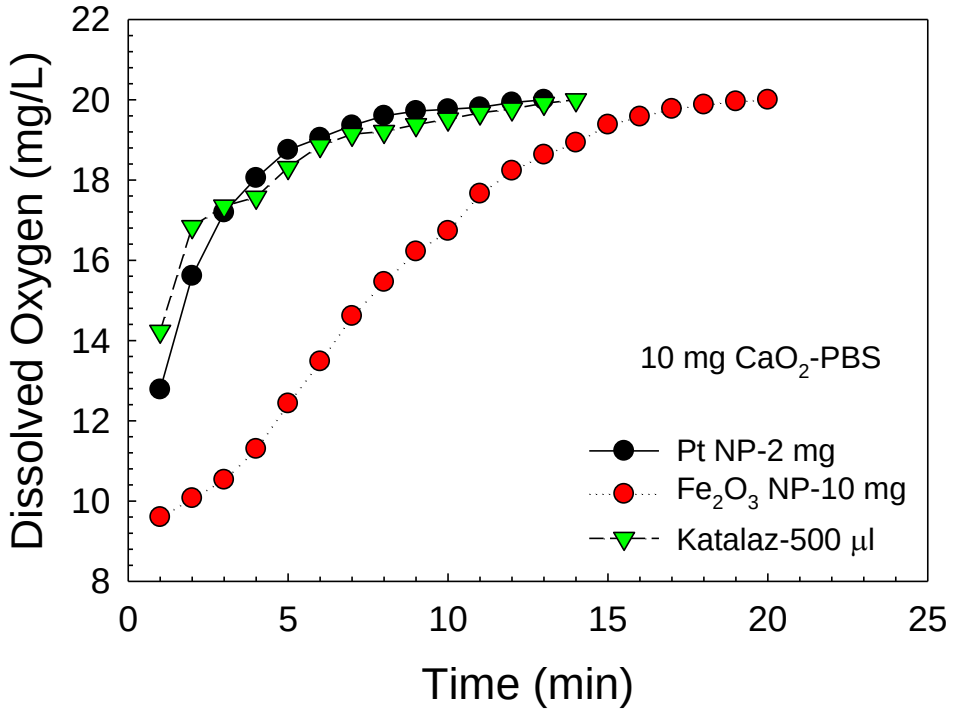
Görsel 6. TA/PVP ile sentezlenen örneklerde PVP miktarının O_2 üretim hızındaki etkisini gösteren grafikler (a) 5 mg örnek-15 ml PBS, (b) 10 mg örnek-15 ml PBS.

Pt nanopartiküller (PtNP) varlığında ölçüm yapılan sistemde oksijen salım profili, başlangıç aşamasından itibaren en hızlı artışı göstermekte ve çok kısa sürede çözelti yüksek bir oksijen seviyesine ulaşmaktadır. Bu durum, Pt nanopartiküllerinin H_2O_2'nin katalitik olarak O_2 ve H_2O'ya dönüşümünü hızlandıran etkin bir katalizör olduğunu göstermektedir. Literatürde bu tür bir etki Pt NP'lerin H_2O_2'ye karşı katalaz benzeri aktivite sergilediği ve nötr/alkalin koşullarda doğrudan O_2 üretimine katkıda bulunduğu şeklinde rapor edilmiştir [18].

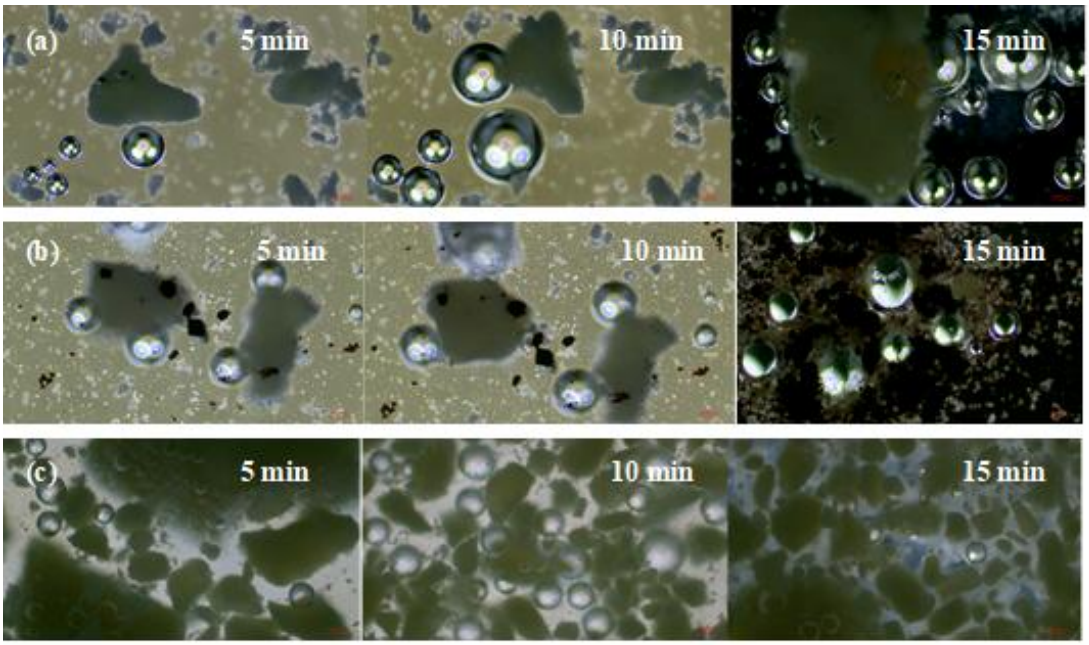
Buna karşılık γ-Fe_2O_3 katalizör varlığında oksijen salım kinetiğinin daha yavaş olduğu görülmüştür. Grafikte oksijen üretimi Pt NP kadar hızlı artmamakta ve maksimum değere

ulaşma süresi belirgin şekilde uzamaktadır. Bu fark, γ-Fe_2O_3 gibi demir oksit katalizörlerin H_2O_2 ayrışmasında tipik olarak daha düşük katalitik aktiviteye sahip olması ile açıklanabilir. Literatürde γ-Fe_2O_3 ve benzeri demir oksitlerin, Fenton ve Fenton-benzeri reaksiyonlarla H_2O_2'yi OH gibi radikallere dönüştürebildiği ancak Fe_2O_3'ün yüzey özellikleri ve derişim koşullarının katalitik verim üzerinde belirleyici olduğu bildirilmiştir. Fe_3O_4/Fe_2O_3 temelinde yapılan çalışmalarda H_2O_2 parçalanmasının optimize edilmesi için pH, demir oksit yüzey alanı ve reaksiyon koşullarının kritik olduğu vurgulanmıştır [19].

Katalaz enzimi kullanıldığında ise grafikte oksijen salım kinetiği Pt NP'ye çok benzer bir eğri çizmektedir. Bu sonuç katalazın doğrudan H_2O_2'yi suda su ve moleküler oksijene hızlıca dönüştürmesiyle açıklanabilir. Doğal katalaz enzimi, biyolojik uygulamalarda bu reaksiyonu katalize eden temel enzimdir ve H_2O_2 ayrışmasını sağlamaktadır. Literatürde katalazın H_2O_2'yi O_2 ve H_2O'ya çok hızlı dönüştürdüğü biyokimyasal reaksiyonların kinetiği raporlanmıştır [20].



Görsel 7. Farklı katalizörlerin CaO2 nanopartiküllerinin PBS ortamında oksijen üretim hızını gösteren grafik.



Görsel 8. PBS ortamında farklı katalizörler (a) PtNP, (b) γ-Fe_2O_3 NP, (c) katalaz ve CaO2 nanopartikülleri varlığında gaz oluşumunu gösteren optik mikroskop görüntüleri.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışmanın sonuçları CaO_2 nanopartiküllerinden oksijen salımının yalnızca partikül miktarına değil, yüzey kimyası, stabilizatör türü ve stabilizatör kombinasyonuna bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar ışığında, PVA sabit tutulduğunda TA ve PVP'nin birlikte kullanıldığı kompozisyonların, hem yüksek çözünmüş oksijen kapasitesi hem de daha kontrollü salınım kinetiği açısından en dengeli ve optimum performansı sunduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen katalizörlerin CaO_2 nanopartiküllerinin oksijen üretim hızı üzerindeki etkileri farklı olmuştur. Katalaz enzimi ve Pt nanopartikülleri benzer oksijen salım kinetikleri verirken, kullanılan γ-Fe_2O_3 nanopartiküllerinin daha yavaş oksijen salım profili gösterdiği ve H_2O_2 ayrışmasında daha düşük katalitik aktiviteye sahip olduğu anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 223M255 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. Wu, X., Han, X., Guo, Y., Liu, Q., Sun, R., Wen, Z., Dai, C. Application Prospect of Calcium Peroxide Nanoparticles in Biomedical Field. Reviews on Advanced Materials Science, 62(1), 20220308, 2023. https://doi.org/10.1515/rams-2022-0308

2. He, J., Fu, L.-H., Qi, C., Lin, J., Huang, P. Metal Peroxides for Cancer Treatment. Bioactive Materials, 6(9), 2698–2710, 2021. https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.01.026

3. Zhang, S., He, C., Zhang, C. The Progress and Prospect of Calcium Peroxide Nanoparticles in Cancer Therapy. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 101(Part A), 106114, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.106114

4. Alghamdi, M., Gumbletona, M., Newland, B. Local delivery to malignant brain tumors: potential biomaterial-based therapeutic/adjuvant strategies, Biomater. Sci., 9,6037, 2021.

5. Gholipourmalekabadi, M., Zhao, S., Harrison, B., Mozafari, M., Seifalian, A. Oxygen-Generating Biomaterials: A New, Viable Paradigm for Tissue Engineering?. Trends in Biotechnology. 34, 2016. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.05.012

6. Park, J.S., Song, Y. J., Lim, Y., Park, K. Facile Fabrication of Oxygen-Releasing Tannylated Calcium Peroxide Nanoparticles. Materials. 13, 2020. https://doi.org/10.3390/ma13173864

7. Steg, H., Buizer, A.T., Woudstra, W., Veldhuizen, A.G., Bulstra, S.K., Grijpma, D.W., Kuijer, R. Control of oxygen release from peroxides using polymers, J Mater Sci: Mater Med 26, 207, 2015.

8. Chen, J., Ma, H., Luo, H., Peng, H., Yan, Q., Pu, S. Influencing factors and controlled release kinetics of H2O2 from PVP-coated calcium peroxide NPs for groundwater remediation. J Hazard Mater. 464, 132902, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132902

9. Ranoszek-Soliwoda, K., Tomaszewska, E., Socha, E. et al. The role of tannic acid and sodium citrate in the synthesis of silver nanoparticles. J Nanopart Res 19, 273, 2017. https://doi.org/10.1007/s11051-017-3973-9

10. Rajaram, J., Kuthati, Y. Metal Peroxide Nanoparticles for Modulating the Tumor Microenvironment: Current Status and Recent Prospects. Cancers, 16(21), 3581, 2024. https://doi.org/10.3390/cancers16213581

11. Anwar, S., Alrumaihi, F., Sarwar, T., Babiker, A. Y., Khan, A. A., Prabhu, S. V., Rahmani, A. H. Exploring Therapeutic Potential of Catalase: Strategies in Disease Prevention and Management. Biomolecules, 14(6), 697, 2024. https://doi.org/10.3390/biom14060697

12. Wu, Y., Song, Z., Deng, G., Jiang, K., Wang, H., Zhang, X., Han, H. Gastric acid powered nanomotors release antibiotics for in vivo treatment of Helicobacter pylori infection. Small, 11, e2006877, 2021. https://doi.org/10.1002/smll.202006877

13. Turan, F., Deliormanlı, A. M. Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılmak üzere CaO_2 Nanopartiküllerinin Sentezi ve Karakterizasyonu, Karadeniz 18. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, Rize, Türkiye, 4 - 06 Temmuz 278-289, 2025.

14. Ali, M., Farooq, U., Lyu, S., Sun, Y., Li, M., Ahmad, A., Shan, A., Abbas, Z. Synthesis of controlled release calcium peroxide nanoparticles (CR-nCPs): Characterizations, H_2O_2 liberate performances and pollutant degradation efficiency,Separation and Purification Technology, 241,116729, 2020. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116729

15. Yeh, C.S., Wang, R., Chang, W.C., Shih, Y. Synthesis and characterization of stabilized oxygen-releasing CaO_2 nanoparticles for bioremediation, J. Environ. Manage., 212 17-22, 2018.

16. Madan, S., Wasewar, K., Kumar, R. Optimization of adsorptive removal of α-toluic acid by CaO_2 nanoparticles using response surface methodology. Resource-Efficient Technologies. 3. 2017. https:// doi.org/10.1016/j.reffit.03.004

17. Rastinfard, A., Haghbin Nazarpak, M., Moztarzadeh, F. Controlled chemical synthesis of CaO_2 particles coated with polyethylene glycol: Characterization of crystallite size and oxygen release kinetics. RSC Advances. 8. 91-101, 2017. https://doi.org/10.1039/C7RA08758F

18. Liu, Y., Wu, H., Li, M., Yin, J-J., Nie, Z. pH dependent catalytic activities of platinum nanoparticles with respect to the decomposition of hydrogen peroxide and scavenging of superoxide and singlet oxygen, Nanoscale, 6, 11904-11910, 2014.

19. Maharjan, A., Dikshit, P. K., Gupta, A., Kim, B.S. Catalytic activity of magnetic iron oxide nanoparticles for hydrogen peroxide decomposition: optimization and characterization. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 95, 2020. https://doi.org/10.1002/jctb.6431

20. Andrés, C. M. C., Pérez de la Lastra, J. M., Juan, C. A., Plou, F. J., Pérez-Lebeña, E. Chemistry of Hydrogen Peroxide Formation and Elimination in Mammalian Cells, and Its Role in Various Pathologies. Stresses, 2(3), 256-274, 2022. https://doi.org/10.3390/stresses2030019

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

YEŞİL SENTEZ YÖNTEMİ İLE ACHILLEA MILLEFOLIUM VE ECHINACEA PURPUREA ÖZÜTLERİ KULLANILARAK PLATİN NANOPARTİKÜLLERİNİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU

Dr. Öğr. Üyesi Fatih TURAN

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği

fatih.turan@deu.edu.tr– ORCID: 0000-0002-9969-0405

Prof. Dr. Aylin M. DELİORMANLI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

aylin.deliormanli@cbu.edu.tr – ORCID: 0000-0001-7877-7635

ÖZET

Bu çalışmada, yeşil sentez yöntemi kullanılarak *Achillea millefolium* (civan perçemi) ve *Echinacea purpurea* (ekinezya) bitki özütleri aracılığıyla platin nanopartikülleri (PtNP) sentezlenmiştir. Bitki özütlerinde bulunan fenolik bileşikler, flavonoidler ve protein benzeri biyomoleküllerin Pt^{4+} iyonlarının indirgenmesinde ve oluşan nanopartiküllerin stabilize edilmesindeki etkisi FTIR ve UV-Vis analizleri ile incelenmiştir. X-ışını kırınımı (XRD) analizleri her iki bitki özütü kullanılarak sentezlenen PtNP'lerin kristal yapıda olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, bitki türüne bağlı olarak Pt nanopartiküllerinin yapısal ve fonksiyonel özelliklerinin değiştiğini ortaya koymuştur. *A. millefolium* özütü ile sentezlenen PtNP'lerin, *E. purpurea* özütü ile elde edilen PtNP'lere kıyasla daha yüksek katalitik aktivite sergilediği belirlenmiştir. Bu durum, *A. millefolium* özütünün içeriğindeki biyolojik aktif bileşenlerin nanopartikül yüzeyinde daha etkin bir fonksiyonelleşme sağlaması ve katalitik açıdan daha elverişli aktif yüzeyler oluşturması ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, *A. millefolium* özütü kullanılarak sentezlenen PtNP'lerin katalitik performansı, etanolün indirgeyici ajan olarak kullanıldığı konvansiyonel yöntemle sentezlenen PtNP'ler ile karşılaştırılmış ve yeşil sentez yöntemiyle elde edilen PtNP'lerin daha yüksek katalitik etkinlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, sentez sürecinde stabilize edici olarak kullanılan polivinil pirolidon (PVP) miktarının PtNP'lerin katalitik performansı üzerinde belirleyici bir etkisi olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil sentez, platin nanopartikülleri, *Achillea Millefolium, Echinacea Purpurea*

4. GİRİŞ

Nanobiyoteknoloji ve özellikle metal nanoparçacıkların biyomedikal uygulamalarda kullanımı son yıllarda özel ilgi görmektedir. Geleneksel kimyasal ve fiziksel sentez yöntemleri, yüksek maliyet, toksisite riski taşırken, bitki özütleriyle yapılan yeşil sentez yaklaşımları daha

sürdürülebilir alternatifler sunmaktadır [1-3]. Bitkisel özütler, indirgeyici ve kaplayıcı/stabilize edici ajanlar içermekte böylece metal iyonlarının metal nanoparçacıklara dönüşümünü ve nanoparçacıkların yüzey özelliklerinin kontrolünü sağlamaktadır [4, 5].

Achillea millefolium L. (civan perçemi) ve *Echinacea purpurea* (ekinezya) gibi tıbbi bitkiler, flavonoidler, fenolik bileşikler, tanenler ve diğer biyolojik aktif metabolitler açısından zengindir. Bu bileşikler metal iyonlarını indirgemede ve oluşan nanoparçacıkların stabilizasyonunda kritik rol oynamaktadır. *A.millefolium* içerdiği flavonoidler, tanenler, fenolik asitler sayesinde güçlü indirgeme ajanları sağlamakta ve antioksidan destek sunmaktadır [6]. Diğer yandan *E. purpurea*, içerdiği kafeik asit, ve polisakkaritler nedeniyle nanoparçacıkları stabilize edecek fonksiyonel gruplara sahiptir [7].

Geçmişte *A. millefolium* özütleri, gümüş nanoparçacıkların (AgNPs) biyolojik sentezinde hem indirgeme hem stabilizasyon ajanı olarak başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Elde edilen AgNP'ler 4-nitrofenol, metilen mavisi gibi boyaların katalitik indirgenmesinde yüksek aktivite göstermiştir [6]. Ayrıca *A. millefolium* ile sentezlenen AgNP'ler *Mycobacterium tuberculosis* gibi patojenlere karşı antibakteriyel aktivite göstermiş, etkili nanoparçacık boyutlarının 50-80 nm aralığında olduğu raporlanmıştır [8]. Karimi vd. [9] tarafından yapılan bir çalışmada *A. millefolium* özütü hem indirgeyici hem stabilizatör olarak kullanılarak ~22.4 ± 7.4 nm, küresel şekilli AgNP'ler sentezlenmiş, bakteriyel ve fungal aktiviteleri incelenmiştir. Yousaf vd. [10] tarafından yapılan bir çalışmada farklı solventlerde (su, etanol, metanol) *A. millefolium* özütü kullanılarak hazırlanan farklı ekstraktlar ile ~14-21 nm arasında farklı geometrilere sahip Ag-NP'ler üretilmiştir. Rabiee vd. [11] tarafından yapılan bir başka çalışmada *A. millefolium* özütü kullanılarak CuO nanoparçacıklar sentezlenmiş katalitik, antibakteriyel ve antifungal aktiviteleri değerlendirilmiştir.

Diğer yandan, geçmişte *E. purpurea* özütü kullanılarak TiO_2 nanoparçacıkları (parçacık büyüklüğü ~120 nm) sentezlenmiş ve bu yaklaşımın kimyasal yöntemlere kıyasla daha çevre dostu olduğu vurgulanmıştır [12]. Ayrıca geçmiş çalışmalarda *E. purpurea* özütü ile sentezlenen Se-Ag bimetalik nanoparçacıkların biyolojik aktiviteleri incelenmiş ve antioksidan özellikler gösterdiği ifade edilmiştir [13]. Bir diğer çalışma [7], *E. purpurea* özüt konsantrasyonu ve ekstraksiyon yöntemi (sıcaklıkla klasik ekstraksiyon, mikrodalga ekstraksiyon vb.) değiştikçe AgNP'lerin boyut ve biyolojik aktivitelerinin nasıl değiştiğini göstermiştir. Düşük konsantrasyonlu klasik ekstrakt ile <10 nm boyutlarda nanoparçacıklar elde edilmiştir [7]. Gecer vd.[14] tarafından yürütülen ilgili bir çalışmada *E. purpurea*'nın uç-kısımları kullanılarak Ag-NP sentezi (~68.24 nm, küresel şekilli nanopartiküller) yapılmış ve antioksidan özellikleri değerlendirilmiştir.

Platin nanopartikülleri (PtNP'ler), yüksek yüzey enerjisi, kararlı elektron konfigürasyonu ve biyouyumluluğu sayesinde özellikle katalitik reaksiyonlar, antikanser ilaç taşıma, antioksidan ve antibakteriyel ajan, elektrokimyasal sensörler gibi alanlarda dikkat çeken değerli metal nanoparçacıklardır [15]. Literatürde PtNP'lerin yeşil sentezi üzerine yapılan çalışmalar [16-18] olsa da *A.millefolium* ve *E.purpurea* ile PtNP sentezi üzerine yapılmış bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışmanın amacı, PtNP'leri, ilk kez A.*millefolium* ve *E.purpurea* özütleriyle yeşil sentez yöntemi ile sentezleyerek, boyut, morfoloji ve yüzey özelliklerini karakterize etmek, hangisinin daha etkili PtNP üretimi sağlayacağını belirlemektir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1.Achillea Millefolium L. (civan perçemi) Kullanılarak PtNP Sentezi

Civan perçemi yıkandıktan sonra, kurutularak 10 g yaprak 100 ml deiyonize su içerisinde (üstü kapalı olarak) 80°C'de 30 dakika kaynatılmıştır [6]. Oda sıcaklığına getirildikten sonra önce 5000 rpm'de santrifüjlenmiş sonra filtre kağıdı (No:1) ile filtre edilmiştir. Elde edilen ekstrakt +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır. 90 ml 0.01 M $H_2PtCl_6 \cdot xH_2O$ (Sigma Aldrich, M_w: 409.81) ile 10 ml civanperçemi ektratı ile birleştirilerek (ekstrakt damla damla eklenmiştir) hızlı karıştırma altında (yüksek hız manyetik karıştırıcı ile ~1000 rpm). 0.05, 0.1 ve 0.5 g PVP, etanol (20 ml) içerisinde çözündürülüp damla damla karışıma eklenmiştir. Karışım 100 °C' de 5-10 saat arası reflux yapılmıştır.

2.2. Echinacea Purpurea (Ekinezya) Kullanılarak PtNP Sentezi

Ekinezya yaprakları yıkandıktan sonra, kurutulmuş 10 g yaprak 100 ml deiyonize su içerisinde (üstü kapalı olarak) 100 °C'de 2 saat kaynatılmıştır [19]. Oda sıcaklığına getirildikten sonra önce 2000 rpm de santrifüjlenmiş sonra filtre kâğıdı (No:1) ile filtre edilmiştir. Elde edilen özüt +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır. 90 ml 0.01 M $H_2PtCl_6 \cdot xH_2O$ (Sigma Aldrich, M_w: 409.81) ile 10 ml ekinezya ektratı ile birleştirilmiş hızlı karıştırma altında (yüksek hız manyetik karıştırıcı). 0.5 g PVP, etanol (20 ml) içerisinde çözündürülüp damla damla karışıma eklenmiştir. Karışım 100 °C de 5-10 saat arası reflux yapılmıştır. Süre rengin sarıdan kahverengi-siyaha dönmesine göre belirlenmiştir.

2.3. Karakterizasyonlar

2.3.1. Yapısal Özellikler

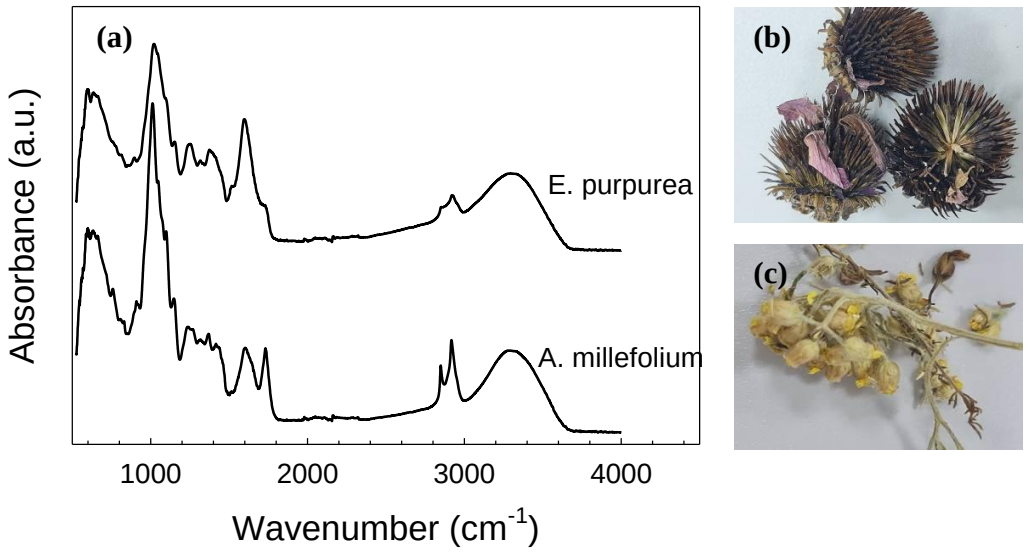
Çalışma kapsamında sentezlenen PtNP'lerin morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM, Zeiss Gemini 500) ile yapısal ve optik özellikleri FTIR-ATR spektrometresi (Thermo Nicolet, IS20) ve UV-Vis spektrofotometresi (Thermo Evolution 201) ile incelenmiştir. Hazırlanan partiküllerin, kristal yapısı X-ışını difraktometresi (Rigaku Miniflex II) ile analiz edilmiştir. Ayrıca tane boyut dağılımı (DLS yöntemi ile) ölçümleri Malvern Zetasizer NanoZS kullanılarak (dispersiyon ortamı etil alkol) yapılmıştır.

2.3.2. Katalitik Aktivite

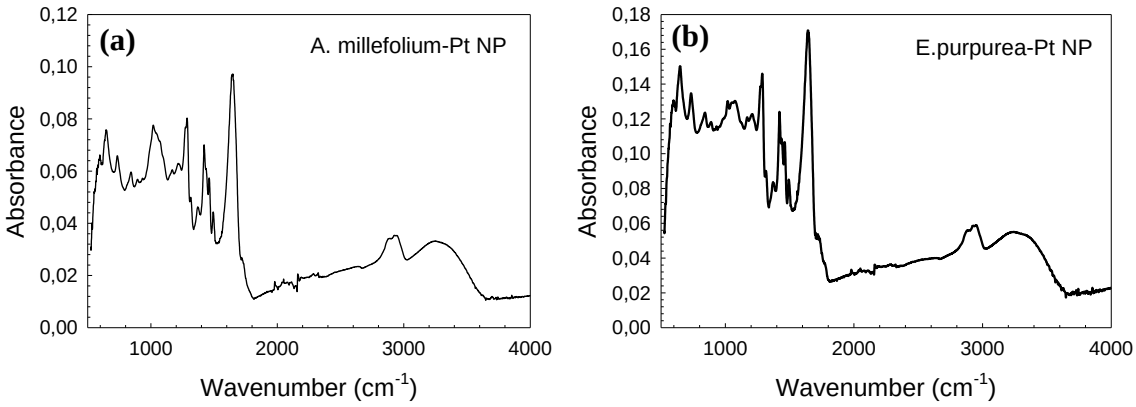
Hazırlanan nanopartiküllerin katalizör olarak CaO_2 nanopartiküllerinin (d_{50}: ~ 50-100 nm) degredasyon ve O_2 üretimi reaksiyonundaki etkinliğini araştırmak için, 5 mg CaO_2: 2 mg Pt NP, 15 ml fosfat tamponlu salin (PBS, pH 7.4) içerisinde tutularak zaman bağlı olarak PBS'in çözünmüş oksijen seviyesindeki değişim O_2 metre (WTW 9310, FDO 925) kullanılarak ölçülmüştür. Karşılaştırma amacıyla, aynı deneyler etanolün indirgeyici ajan olarak kullanıldığı klasik yöntemle sentezlenmiş PtNP'ler (kristalit boyutu ~3-4 nm, sentez sıcaklığı 110 °C, 1 saat) ile tekrarlanmıştır.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Görsel 1'de verilen FTIR spektrumları, *A. millefolium* ve *E.purpurea* bitki özütleri ile sentezlenen PtNP'lerde fonksiyonel grupların varlığını ve potansiyel rolünü ortaya koymaktadır. Her iki bitki özütünde 3200–3400 cm^{-1} aralığında gözlenen geniş bantlar –OH ve –NH gruplarına karşılık gelmekte, fenolikler, flavonoidler ve proteinlerin varlığı ile ilişkilendirilmektedir [20]. PtNP sentezinden sonra bu bantlarda gözlenen azalma (Görsel 2) ve kaymalar, söz konusu grupların nanoparçacık yüzeyine bağlanabileceğini ve literatürde bildirildiği üzere metal iyonlarının indirgenmesi ve nanopartiküllerin stabilize edilmesinde rol oynayabileceğini düşündürmektedir [21].



Görsel 1. Çalışmada kullanılan kurutulmuş bitkilere ait (a) FTIR spektrumu ve fotoğraflar (b) *E.purpurea*, (c) *A. millefolium*.

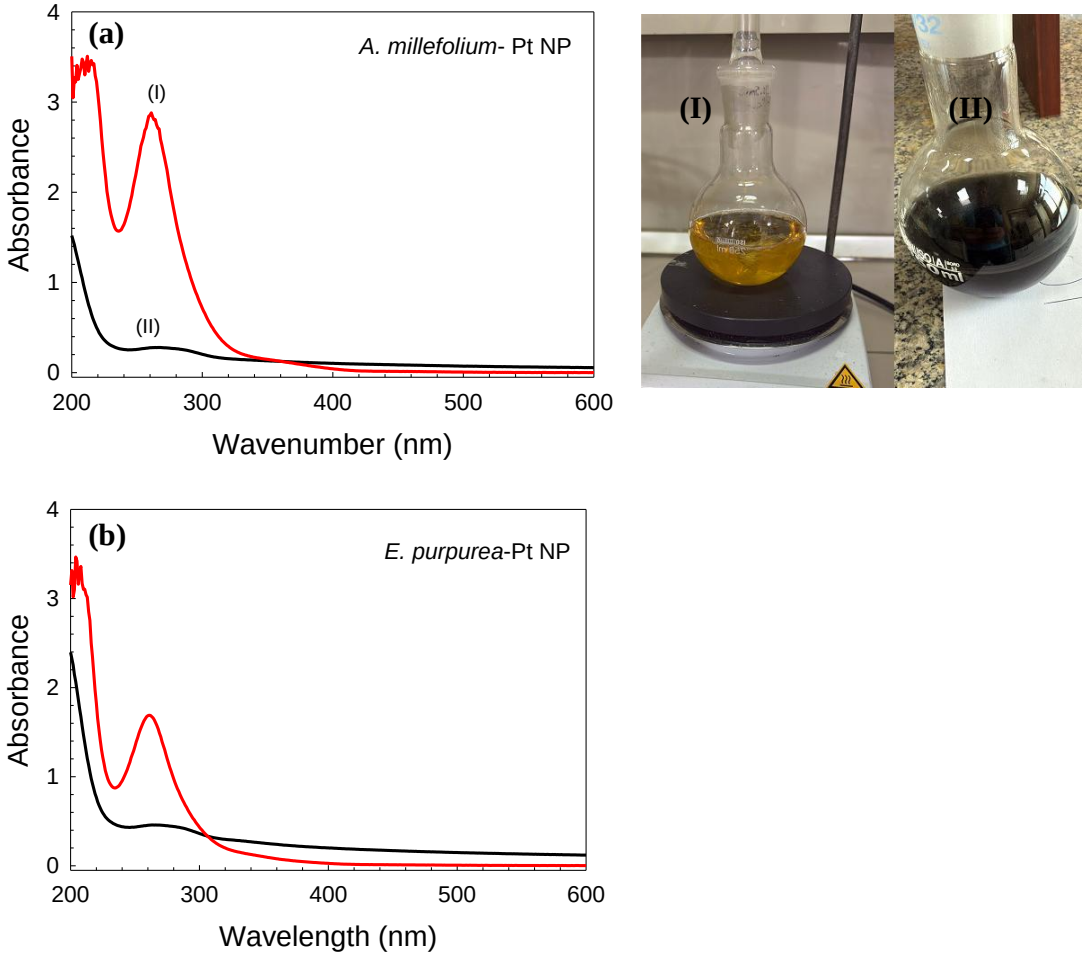


Görsel 2. (a) *A. millefolium*. (b) *E.purpurea* kullanılarak hazırlanan PtNP'lerin FTIR spektrumları.

1630–1650 cm^{-1} civarında gözlenen amid I bantları, proteinlerin nanoparçacık yüzeyinde kaplayıcı (capping) ajan olarak rol oynayabileceğini desteklemektedir. 1380–1450 cm^{-1}

aralığındaki C–H ve C–N bükülme bantları ile 1000–1100 cm^{-1} civarındaki C–O ve C–O–C bantları, bitkisel polisakkarit ve flavonoid içeriklerinin nanopartikül oluşumuna dolaylı katkıda bulunabileceğini göstermektedir [20].

PtNP'lerin UV-Vis spektrumları (Görsel 3), bitki özütlerinin Pt^{4+} iyonlarını indirgeme kapasitesini destekleyen kanıtlar sunmaktadır. Görsel 3'te (I) ile gösterilen bitki özütlerine ait spektrumlarda yüksek absorbans değerleri gözlenirken, PtNP sentezinden sonra (II) eğrilerinde absorbansın azalması ve bantların düzleşmesi, bitkisel moleküllerin metal iyonlarını indirgeme sürecinde tüketildiğini ve nanopartikül oluşumunun tamamlandığını göstermektedir. PtNP sentezi sonrasında 260–280 nm aralığında (kloroplatinik asit çözeltisi (H_2PtCl_6) ne ait bant) gözlenen absorbans azalması, bitki özütündeki fenolik ve flavonoid bileşiklerin Pt iyonlarını indirgerken tüketildiğini ve Pt^0 nanoparçacıklarının oluştuğunu ifade etmektedir [22].

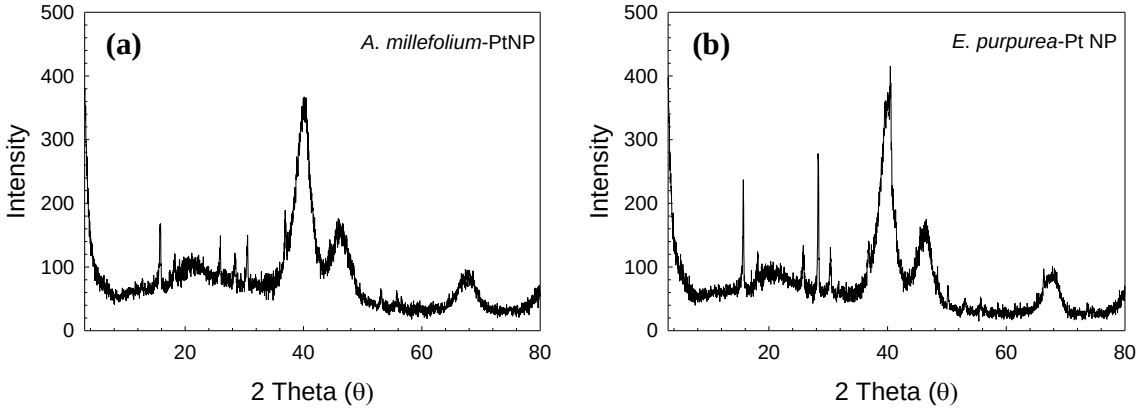


Görsel 3. (a) *A. millefolium*. (b) *E.purpurea* kullanılarak hazırlanan özütlerin (I) ve indirgeme reaksiyonu sonrası PtNP süspansiyonlarının (II), UV-vis spektrumları.

X-ışını kırınımı (XRD) desenleri, sentezlenen PtNP'lerin kristal yapıda olduğunu açıkça göstermektedir (Görsel 4). XRD deseninde Pt'ye ait (111), (200), (220) düzlem pikleri görünmekte ve bu durum PtNP'lerin oluştuğunu kanıtlamaktadır. Her iki bitki özütü ile elde edilen örneklerde $2\theta \approx 39–40°$ civarında gözlenen belirgin pik, platin metalinin (111) düzlemine karşılık gelmektedir. Bu düzlem, yüzey enerjisi en düşük olan ve katalitik açıdan en aktif Pt kristal yüzeylerinden biridir [23]. XRD desenlerinde Pt dışında gözlenen düşük düşük ve

şiddetli pikler, bitki özütlerinden kaynaklanan amorf organik bileşenlerin ve sentezde kullanılan $H_2PtCl_6 \cdot xH_2O$ öncülünden kalan eser miktarda tuz kalıntılarının varlığı ile açıklanabilir. *E.purpurea* özütü ile sentezlenen PtNP'lerin XRD deseninde bu piklerin şiddetinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum *E.purpurea* özütünün Pt^{4+} iyonlarını indirgeme kapasitesinin daha düşük olduğunu göstermektedir.

Debye–Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanan kristalit boyutları *A.millefolium*-PtNP için ~2.55 nm, *E.purpurea*-PtNP için ise ~3.31 nm olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Bu sonuçlar, bitki özütlerinin indirgeme kapasiteleri sayesinde ultra-küçük boyutlu PtNP'lerin elde edilebildiğini göstermektedir. Çizelge 1'de verilen mikro-gerinim (ε) değerleri, nanopartiküllerdeki kafes kusurları ve yüzey stresinin bitkisel kaplama ajanlarından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir.

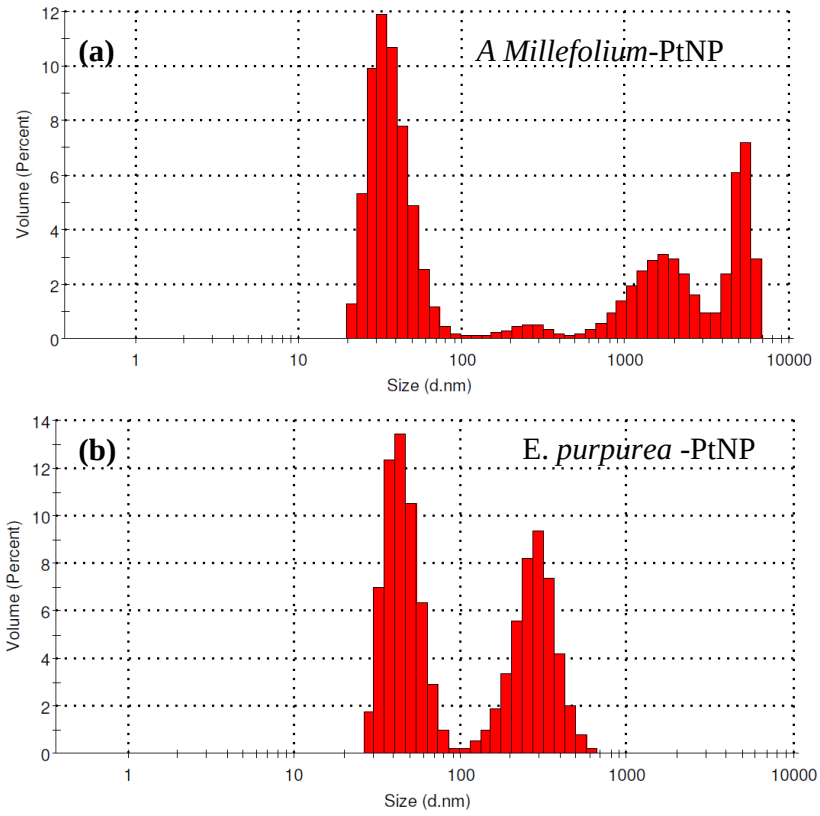


Görsel 4. (a) *A. millefolium*. (b) *E.purpurea* kullanılarak hazırlanan PtNP'lerin XRD desenleri.

Çizelge 1. *A. millefolium* ve *E.purpurea* kullanılarak hazırlanan PtNP'lerin XRD parametreleri.

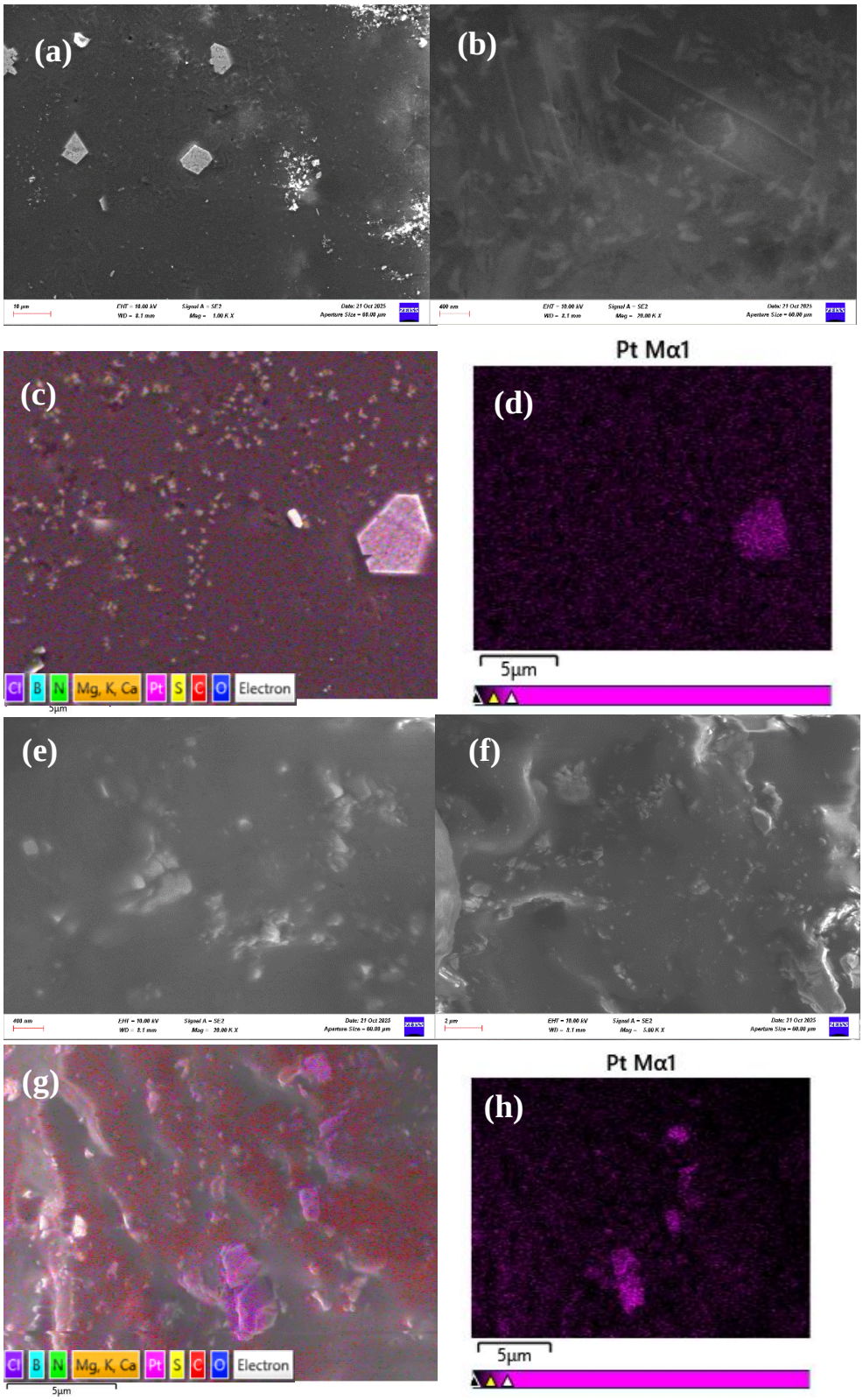
Miller indices (hkL) (111)	Peak Position (2 Theta)	FWHM	Crystallite (grain) size (nm)	Micro-strain (ε)
A. millefolium	39.91	3.4553	2.55	0.04152
E. purpurea	39.83	2.6675	3.31	0.03213

Görsel 5'te sunulan boyut dağılım histogramları, PtNP'lerin hidrodinamik çaplarının kristalit boyutlarından daha büyük olduğunu göstermektedir. *A. millefolium* ile sentezlenen PtNP örneklerinde baskın dağılım 50–100 nm, *E. purpurea* ile sentezlenen PtNP örneklerinde ise 100–300 nm aralığında yoğunlaşmıştır. Bu fark, bitki özütlerinin içerdiği biyomolekül çeşitliliği ve konsantrasyonuna bağlı olarak nanopartikül yüzeyinde oluşan organik kaplamaların kalınlığı ve agregasyon eğilimi ile ilişkilidir. DLS ile ölçülen hidrodinamik çapların XRD ile hesaplanan kristalit boyutlarından büyük olması, PtNP'lerin tek kristalden oluşan çekirdeklerin etrafında biyomoleküler kaplama ve zayıf aglomerasyonlar içerdiğini göstermektedir.



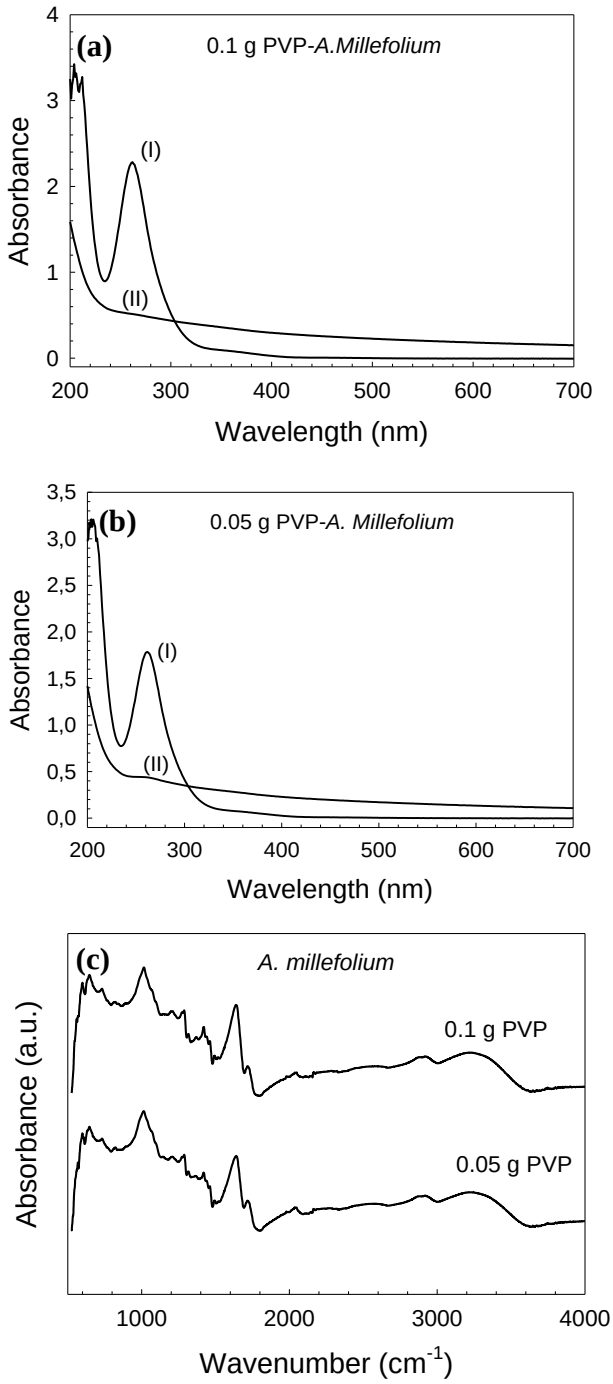
Görsel 5. (a) *A. millefolium*. (b) *E.purpurea* kullanılarak hazırlanan PtNP'lerin DLS yöntemi ile elde edilen tane boyutu dağılımı grafikleri.

Görsel 6'da verilen SEM mikrografları, ve elemental haritalama sonuçları her iki bitki özütü ile sentezlenen PtNP'lerin sentez esnasında kullanılan çok yüksek PVP miktarına (0.5 g) bağlı olarak polimerik matris içerisine gömüldüğünü göstermektedir. EDX analizi, *A. millefolium* ile elde edilen örneklerde oluşan Pt miktarının (%10.3) çok düşük ve C miktarının (%56) çok yüksek olması PtNP'lerin yüzeyde değil, organik faz tarafından kaplanmış olabileceğini teyid etmektedir . Bu oranlar *E.purpurea* ile elde edilen örnekler için %7.4 Pt ve %57.9 C olarak elde edilmiştir. Ayrıca, yapıda %3.5 Cl bulunması indirgenmeyen prekürsör varlığına işaret etmektedir.



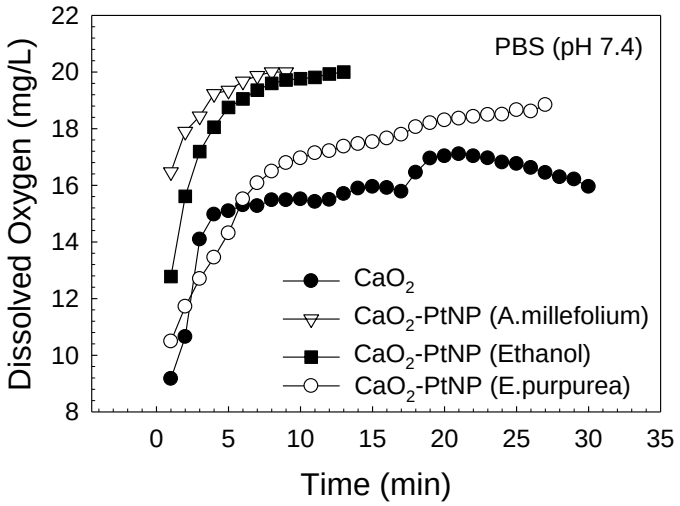
Görsel 6. (a)-(d) *A. millefolium*. (e)-(h) *E.purpurea* kullanılarak hazırlanan PtNP'lerin SEM mikrografları ve elemental haritalama sonuçları.

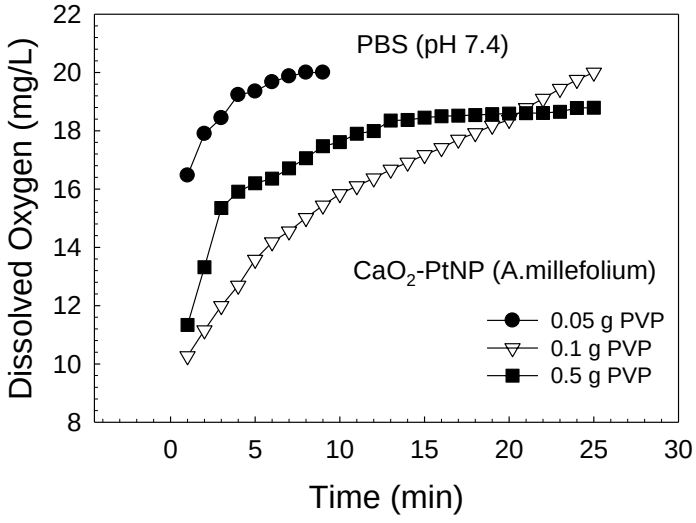
SEM, EDX analizi ve elemental haritalama sonuçları sentez sırasında kullanılan 0.5 g PVP'nin çok yüksek olduğunu göstermiş buna bağlı olarak en iyi sonucu veren *A. millefolium* özütü kullanılarak 0.1 g ve 0.05 g PVP varlığında deneysel çalışmalar tekrar edilmiştir. Görsel 7'de verilen UV-vis ve FTIR spektrumları ilgili miktarlarda PVP kullanılarak hazırlanan Pt NP örneklerine aittir. Buna göre her iki PVP oranında da *A. millefolium* özütlerinin indirgeme kapasitesinde önemli bir değişiklik bulunmamaktadır.



Görsel 7. (a) 0.1 gr PVP, (b) 0.05 gr PVP varlığında *A. millefolium*. kullanılarak hazırlanan özütlerin (I) ve indirgeme reaksiyonu sonrası PtNP süspansiyonlarının (II), UV-vis spektrumları, (c) FTIR spektrumları.

Çalışma kapsamında sentezlenen PtNP'lerin katalitik aktivitelerinin değerlendirilmesi için nanopartiküllerin katalizör olarak CaO_2 nanopartiküllerinin degredasyon ve O_2 üretimi reaksiyonundaki etkinliğini araştırılmıştır. Karşılaştırma amacıyla, aynı deneyler etanolün indirgeyici ajan olarak kullanıldığı klasik yöntemle sentezlenmiş PtNP'ler ile tekrarlanmıştır. Görsel 8, CaO_2 nanopartikülleri ve sentezlenen PtNP'ler varlığında PBS'in çözünmüş oksijen seviyesindeki artışı göstermektedir. Buna göre PtNP olmadan CaO_2 nanopartikülleri 30 dakika sürecinde ortalama 15 mg/L seviyesinde O_2 üretirken klasik yöntemle etanol ve PVP varlığında sentezlenen PtNP'ler 13 dakika sonunda 20 mg/L O_2 seviyesine ulaşmıştır (Görsel 8-a). Diğer yandan 0.05 g PVP ve *A. millefolium* özütlerinin varlığında sentezlenen Pt NP'lerin bulunduğu sistem 8 dakikada 20 mg/L çözünmüş O_2 konsantrasyonu göstermiştir. Bu durum *A. millefolium* özütlerinin varlığında sentezlenen PtNP'lerin yüksek katalitik performansa sahip olduğunu ifade etmektedir.





Görsel 8. (a) CaO_2 partiküllerinin PBS içerisinde *A. Millefolium* (0.05 g PVP) *ve E.purpurea* özütleri kullanılarak hazırlanan PtNP'ler varlığında/yokluğunda O_2 üretim kapasitesini gösteren grafik, (b) Farklı miktarlarda PVP ve *A. millefolium* kullanılarak hazırlanan PtNP'lerin katalitik performansı.

Benzer şekilde Görsel 8(b)'de verilen grafik CaO_2 nanopartiküller ve *A. millefolium* özütü kullanılarak farklı miktarlarda PVP varlığında sentezlenen PtNP'lerin bulunduğu PBS ortamının çözünmüş O_2 konsantrasyonlarını göstermektedir. Buna göre kullanılan PVP miktarı azaldıkça PtNP'lerin katalitik aktivitelerinin arttığı anlaşılmaktadır. Bu durumun PtNP'lerin etrafını saran PVP tabakasının incelmesi ile ilgili olabileceği sonucuna varılmıştır.

Diğer yandan *E.purpurea* özütü ile sentezlenen PtNP'lerin varlığında CaO_2'nin aynı şartlar altında O_2 üretme yeteneği daha düşük bulunmuştur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, *A.millefolium* ve *E.purpurea* bitki özütleri kullanılarak biyomedikal uygulamalar için platin nanopartiküllerinin (PtNP) yeşil sentez yöntemi ile hazırlanması gerçekleştirilmiştir. FTIR analizleri, bitki özütlerine ait fenolik, flavonoid ve protein kökenli fonksiyonel grupların PtNP yüzeyine bağlanabileceğini, indirgeme ve stabilizasyon süreçlerine dolaylı katkı sağladığını göstermiştir. UV-Vis spektroskopisi ile elde edilen sonuçlar, PtNP oluşumunun dolaylı olarak doğrulanmasına imkân vermiştir.

XRD analizleri, her iki bitki özütü ile sentezlenen PtNP'lerin kristal platin yapısına sahip olduğunu göstermiştir. Her iki XRD deseninde Pt (111) pikleri baskın olup, kristalit boyutları *A.millefolium* için 2.55 nm ve *E. purpurea* için 3.31 nm olarak hesaplanmıştır. *E. Purpurea* özütü ile sentezlenen PtNP'lerde ise Pt dışındaki pikler daha yoğun ve şiddetli olup, kısmen indirgenmemiş $H_2PtCl_6 \cdot xH_2O$ tuzları ve bitki özütü kaynaklı organik kristal fazları ile ilişkilendirilebilir.

DLS analizleri, PtNP'lerin kolloidal stabilitesini ve organik kaplama etkisini ortaya koymuş, *A.millefolium* ile sentezlenen nanopartiküller daha homojen ve küçük, *E. Purpurea* ile sentezlenenler ise daha geniş dağılımlı bulunmuştur. SEM, EDX ve elemental haritalama analizi sonuçları PtNP'lerin sentez esnasında kullanılan yüksek PVP miktarına (0.5 g) bağlı olarak polimerik matris içerisine gömüldüğünü göstermiştir.

Katalitik aktivite çalışmaları, PVP miktarının azaltılmasının PtNP'lerin PBS ortamında CaO_2 nanopartiküllerinin O_2 üretim hızını arttırdığını, *A.millefolium* kullanılarak sentezlenen PtNP'lerin katalitik performansının etanolün indirgeyici ajan olarak kullanıldığı konvansiyonel yöntemle sentezlenen PtNP'ler daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Genel sonuçlar, *A.millefolium* ve *E. Purpurea* bitki özütlerinin, PtNP'lerin çevre dostu ve biyomedikal uygulamalara uygun bir şekilde sentezlenmesinde etkili biyomoleküler ajanlar olarak işlev görebileceği göstermiştir. Elde edilen bulgular, bitkiler varlığında yeşil sentezin PtNP sentezi için uygun bir yaklaşım olduğunu kanıtlamaktadır.

.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 223M255 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P.C., Clubb, P., Rico, C., He, F., Hong, J. Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. Environ. Technol. Innov. 26, 102336, 2022.

2. Agarwal, H., Nakara, A., Shanmugam, V.K. Anti-inflammatory mechanism of various metal and metal oxide nanoparticles synthesized using plant extracts: A review. Biomed. Pharmacother. 109, 2561–2572, 2019.

3. Aboyewa, J. A., Sibuyi, N. R. S., Meyer, M., Oguntibeju, O. O. Green Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Some Selected Medicinal Plants from Southern Africa and Their Biological Applications. Plants, 10(9), 1929, 2021. https://doi.org/10.3390/plants10091929.

4. Villagrán, Z., Anaya-Esparza, L. M., Velázquez-Carriles, C. A., Silva-Jara, J. M., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Aurora-Vigo, E. F., Rodríguez-Lafitte, E., Rodríguez-Barajas, N., Balderas-León, I., Martínez-Esquivias, F. Plant-Based Extracts as Reducing, Capping, and Stabilizing Agents for the Green Synthesis of Inorganic Nanoparticles. *Resources*, *13*(6), 70, 2004. https://doi.org/10.3390/resources13060070

5. Nande, A., Raut, S., Michalska-Domanska, M., Dhoble, SJ. Green Synthesis of Nanomaterials Using Plant Extract: A Review. Curr Pharm Biotechnol. 22(13), 1794-1811, 2021. https://doi.org/0.2174/1389201021666201117121452

6. Khodadadi, B., Bordbar, M., Nasrollahzadeh, M. Achillea millefolium L. extract mediated green synthesis of waste peach kernel shell supported silver nanoparticles: Application of the nanoparticles for catalytic reduction of a variety of dyes in water. J Colloid Interface Sci. 1,493,85-93, 2017. http://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.01.012

7. Fierascu, I. C., Fierascu, I., Baroi, A. M., Ungureanu, C., Ortan, A., Avramescu, S. M., Somoghi, R., Fierascu, R. C., & Dinu-Parvu, C. E. Phytosynthesis of Biological Active Silver Nanoparticles Using Echinacea purpurea L. Extracts. Materials, 15(20), 7327, 2022. https://doi.org/10.3390/ma15207327

8. Mahmood, S., Jannat, S., Shah, A.H., Fariq, A., Rasheed, S., Wazeer, A., Salmen, S.H., Ansari, M.J., Qayyum, A. Antimycobacterial potential of green synthesized silver nano particles from selected Himalayan flora, Journal of Applied Botany and Food Quality 97, 54 – 62. https://doi.org/10.5073/jabfq.2024.097.007

9. Karimi, S., Mahdavi Shahri, M. Medical and cytotoxicity effects of green synthesized silver nanoparticles using Achillea millefolium extract on MOLT-4 lymphoblastic leukemia cell line. J Med Virol. 93(6),3899-3906, 2021. https://doi.org/10.1002/jmv.26694

10. Yousaf, H., Mehmood, A., Ahmad, K.S., Raffi, M. Green synthesis of silver nanoparticles and their applications as an alternative antibacterial and antioxidant agents. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 112, 110901, 2020. https://doi.org10.1016/j.msec.2020.110901

11. Rabiee, N., Bagherzadeh, M., Kiani, M., Ghadiri, A.M., Etessamifar, F., Jaberizadeh, A.H., Shakeri, A. Biosynthesis of Copper Oxide Nanoparticles with Potential Biomedical Applications, International Journal of Nanomedicine, 15, 3983 – 3999, 2020.

12. Dobrucka, R. Synthesis of Titanium Dioxide Nanoparticles Using Echinacea purpurea Herba. Iran J Pharm Res. 16(2),756-762, 2017.

13. Sarı, B.R., Aydın, Acar Ç. Phytofabrication of Selenium-Silver Bimetallic Nanoparticles Using Echinacea purpurea Extract: Characterization and Antioxidant Activity. Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi. 5(2),198-20, 2024.

14. Gecer, E. N., Erenler, R., Temiz, C., Genc, N., Yildiz, I. Green synthesis of silver nanoparticles from Echinacea purpurea (L.) Moench with antioxidant profile. Particulate Science and Technology, 40(1), 50–57, 2021. https://doi.org/10.1080/02726351.2021.1904309

15. Samhitha, S.S., Surabhi, S., Saireddy, S.K., Santhosh, G. Platinum Nanoparticles in Biomedical Applications: Antibacterial and Antiviral Perspectives. In: Kokkarachedu, V., Sadiku, R. (eds) Nanoparticles in Modern Antimicrobial and Antiviral Applications. Nanotechnology in the Life Sciences. Springer, Cham, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50093-0_3

16. A. Thirumurugan, A., P., Kiruthika, C., Nagarajan, S., Christy, A. Green synthesis of platinum nanoparticles using Azadirachta indica - An eco-friendly approach. Materials Letters, 170, 175-178, 2016. https://doi.org/170. 10.1016/j.matlet.2016.02.026

17. Jan, H., Gul, R., Andleeb, A., Ullah, S., Shah, M., Khanum, M., Ullah, I., Hano, C., Abbasi, B.H. A detailed review on biosynthesis of platinum nanoparticles (PtNPs), their potential antimicrobial and biomedical applications, Journal of Saudi Chemical Society, 25, 8, 101297, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jscs.2021.101297

18. Fahmy, S.A., Preis, E., Bakowsky, U., Azzazy, H.M.E. Platinum Nanoparticles: Green Synthesis and Biomedical Applications. Molecules. 28, 25(21), 4981, 2020. https://doi.org/10.3390/molecules25214981

19. Matei, A., Craciun, G., Romanitan, C., Pachiu, C., Tucureanu, V. Biosynthesis and Characterization of Copper Oxide Nanoparticles. Engineering Proceedings, 37(1), 54, 2023. https://doi.org/10.3390/ECP2023-14629.

20. Wongsa, P., Phatikulrungsun, P., Prathumthong, S. FT-IR characteristics, phenolic profiles and inhibitory potential against digestive enzymes of 25 herbal infusions. Sci Rep 12, 6631, 2022. https://doi.org/10.1038/s41598-022-10669-z.

21. Geçer, E., Erenler, R., Temiz, C., Genç, N. Green synthesis of silver nanoparticles from Echinacea purpurea (L.) Moench with antioxidant profile. Particulate Science and Technology. 40, 1-8, 2021. https://doi.org/10.1080/02726351.2021.1904309

22. El-Enshasy, H. A., Al-Rubeaan, K. A. Platinum nanoparticles: Green synthesis and biomedical applications. Molecules, 25(21), 4981, 2021. https://www.mdpi.com/1420-3049/25/21/4981.

23. Cullity, B. D., Stock, S. R. (2001). *Elements of X-ray diffraction* (3rd ed.). Prentice Hall.

S690 ÇELİĞİNİN BENZER OLMAYAN MALZEMELERLE KAYNAKLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER VE DOLGU TELİNİN SEÇİMİ

Dr. Fatih GÜVEN
Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye
fatihguven@hacettepe.edu.tr - ORCID: 0000-0002-3570-9736

ÖZET

Makine tasarımında malzeme seçimi kritik bir aşamadır ve çalışma koşulları göz önünde bulundurularak en uygun malzeme seçilmelidir. Ancak bir malzemenin tüm fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çalışma koşullarına uygun olması nadir bir durumdur. Genellikle makine tasarımında farklı özellikteki malzemeler bir arada kullanılarak hem maliyetin azaltılması hem de verimliliğin artırılması sağlanır. Malzemelerin bir arada kullanılmasında belirlenen birleştirme yöntemi göre birtakım sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Özellikle endüstride yaygın bir birleştirme yöntemi olan kaynaklı imalat ile yapılan çalışmalarda çok sayıda değişken mevcuttur. Yüksek dayanımlı S690 çeliğinin diğer malzemelerle kaynaklı birleştirilmesi yaygın bir uygulamadır. Bu uygulamalarda ikincil malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre kapsamlı bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Yapılan değerlendirmede kaynaklı birleştirme için kullanılması gereken dolgu teli ve kaynaklı imalat için kullanılacak yöntem ve yöntemin uygulanmasında kullanılacak kaynak parametrelerinin titizlikle belirlenmesi bağlantının beklenen mekanik özellikleri karşılaması açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada literatürde S690 çeliğinin benzer olmayan malzemelerle kaynaklı bağlantıları incelenmiş ve yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler ve seçilen dolgu telleri değerlendirilerek uygulama için ortaya çıkabilecek sorunlar ve çözüm önerileri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: HSLA, Kaynak teli seçimi, Farklı malzemelerin kaynağı

METHODS AND FILLER WIRE SELECTION IN THE DISSIMILAR WELDING OF S690 STEEL

Dr. Fatih GÜVEN
Hacettepe University, Başkent OSB Vocational School of Technical Sciences,
Department of Machinery and Metal Technologies, Ankara, Türkiye
fatihguven@hacettepe.edu.tr - ORCID: 0000-0002-3570-9736

ABSTRACT

Material selection is a critical phase in machine design, requiring the identification of the most appropriate materials based on specific operating conditions. It is uncommon for a single material to fulfill all the physical and chemical requirements of a given application. Therefore, materials with different properties are frequently combined in design to optimize costs and enhance performance. However, various technical challenges may emerge depending on the chosen joining method. In particular, welded fabrication, a widely used joining technique in industry, involves numerous process variables. The joining of high-strength S690 steel to dissimilar materials is a widespread practice. Such applications necessitate a comprehensive assessment of the secondary material's physical and chemical characteristics. In this context, the precise determination of the filler wire, the welding method, and the associated process parameters is essential for ensuring that the joint achieves the required mechanical properties. This study reviews the literature regarding the dissimilar welded joints of S690 steel. By evaluating the methods and filler wires reported in previous research, this work identifies potential operational challenges and proposes corresponding technical solutions.

Keywords: HSLA, filler wire selection, dissimilar welding

1. GİRİŞ

Makine tasarımında malzeme seçimi, makinenin çalışma ortamı ve koşulları gözetilerek beklenen mekanik ve kimyasal özelliklere göre belirlenir. Ancak, genellikle tek bir malzemenin istenen tüm özellikleri karşılamadığı durumlar oldukça yaygındır. Bu açıdan, farklı özelliklere sahip malzemelerin bir arada kullanılması uygun bir çözüm olduğu gibi maliyeti azaltmaya da katkı sunar. Bununla birlikte, farklı malzemelerin kullanımı farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmalarından dolayı birleştirme zorluklarını da beraberinde getirir. Özellikle kaynaklı imalat yoluyla birleştirilen parçalarda, malzemelerin mekanik veya kimyasal özelliklerinin olumsuz etkilenme riski bulunmaktadır.

Çok sayıda malzeme kombinasyonu oluşturmak mümkün olmakla birlikte yüksek dayanımlı çeliklerin düşük ve orta dayanımlı çeliklerle birleştirilmesi çelik yapılarda yapılan bir uygulamadır. Bu durum yapının yüksek dayanım gerektiren kısımlarında mukavemeti yüksek bir çelik kullanımı ve diğer kısımlarda yeteri dayanıma sahip ancak uygun maliyetli başka bir çelik kullanımı şeklinde tasarlanabilmektedir. Yüksek dayanımlı çeliğin birleştirildiği ikinci malzeme korozyon dayanımı veya işlenebilirlik gibi özellikleri nedeniyle de tercih edilebilmektedir. Bu malzemelerin birleştirilmesinde sağladığı esneklikten dolayı tercih edilen yöntemlerden biri kaynaklı imalattır. Kaynaklı imalat bilindiği gibi malzemelerin ısı veya basınç kullanarak kalıcı olarak birleştirilmesini sağlayan bir yöntemdir. Isı uygulanması sebebiyle her malzeme kaynaklanmaya uygun değildir. Birleştirme yöntemine karar verirken tercih edilen malzemelerin kaynaklanabilir olmasına dikkat edilmesi ve kaynak işlemi sonrasında da malzemenin tercih edilme sebebi olan özelliklerini bir noktaya kadar koruması gerekir. Ayrıca malzeme kaynaklanmaya uygun olsa dahi birleştirmede kullanılan dolgu telinin ve kaynak parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi son derece önemlidir.

HSLA çelikleri; gemi inşaatı, deniz mühendisliği, köprü yapımı, madencilik ve otomotiv endüstrisi gibi sektörlerde tercih edilmektedir [1], [2]. Endüstride kullanılan kaynaklanabilir yüksek dayanımlı çeliklerden biri S690 çeliğidir [3]. Bu çalışmada S690 çeliğinin benzer olmayan malzemelerle kaynaklı birleştirmesinde kullanılan kaynak yöntemi ve dolgu telleri üzerine literatür taraması yapılarak uygulama açısından değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Astuti vd. [4], V-kaynak ağzı açılan S355J2+N ve S690Q çelik plakaları gazaltı kaynak yöntemi (GMAW) ile kaynaklanmasında alevle doğrultma işleminin bağlantının sertliği üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Söz konusu çalışmada, birleştirmelere uygulanan alevle doğrultma işlemi sonrasında meydana gelen mikroyapı değişimini incelenmiştir. Szusta vd. [5],

tarım makineleri uygulamaları için S355 ve Strenx 700 çelikleri kullanılarak yapılan kaynaklı bindirme birleştirmelerin mukavemeti üzerinde hem kaynak parametrelerinin hem de levha kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Brätz vd. [6], S690, S700 ve S960 yüksek mukavemetli yapı çeliklerinin (HSS), S355 normal mukavemetli yapı çeliği ile birleştirilmesinde, çok pasolu alın birleştirmelerin GMAW ile kaynaklanabilirliği ve yük taşıma kapasitesi üzerine kapsamlı bir çalışma yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışma kapsamında, dolgu metalinin ve ısı girdisinin kaynaklı bağlantıların yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla S355 ve S690 çeliklerinden imal edilmiş 10 mm ve 20 mm kalınlığındaki levhalar incelenmiştir. Bayock vd. [7], 690-MPa mukavemetindeki su verilmiş ve temperlenmiş (QT) çelik olan S690QT ile termo-mekanik kontrol süreci (TMCP) uygulanmış çelik olan S690MC arasında GMAW ile oluşturulan benzer olmayan kaynak bağlantılarının mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde kaynak ısı girdisinin etkisi, sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Ene vd. [8] düşük karbonlu çelik (S235), paslanmaz çelik (1.4404) ve yüksek mukavemetli çelik (S690) arasındaki benzer olan ve benzer olmayan kaynaklı bağlantıların monotonik ve çevrimsel yüklemeler karşı dayanımlarını deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında benzer olmayan malzeme çifti olarak 1.4404 paslanmaz çelik (AISI 316L eşdeğer) ile S690QL yüksek dayanımlı çelik çifti ENISO 16834-A - Mn3Ni1CrMo tel ile GMAW ile kaynaklanmıştır. Wang vd. [9] Süper dubleks paslanmaz çelik olan 2507SDSS ve yüksek dayanım düşük alaşım çeliği olan E690 arasındaki benzer olmayan metal kaynak bağlantısı, ER2594 teli dolgu metali olarak gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve bağlantının mikroyapısını korozyon davranışını incelemiştir. Um vd. [10] SM355 ve HSB690 çeliklerinden oluşan kaynaklı elemanlarda, kaynak süreci boyunca meydana gelen kalıntı gerilmeleri incelemek için özlü tel ark kaynağı (FCAW) yöntemini kullanmıştır.

3. KAYNAK YÖNTEMLERİ ve DOLGU TELİ SEÇİMİ

Çizelge 1'de literatürde yer alan çalışmalarda S690 malzemenin farklı malzemelerle kaynağında kullanılan kaynak yöntemi bu kaynak yöntemlerinde tercih edilen dolgu telleri görülmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde S690 malzemenin benzer olmayan metallerle kaynağında en çok tercih edilen yöntemin GMAW olduğu görülmektedir. GMAW yöntemi robotik kaynak için uygun olması ve yüksek kaynak metali depo etme özelliği sayesinde endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. GTAW ısı girdisi kontrolü daha yüksek olan bir yöntemdir ve nispeten ince plakalarda tercih edilmektedir. FCAW yöntemi ise tertibat

olarak GMAW ile benzer olmakla birlikte kullanılan telin yapısı gereği bir farklılık oluşturmaktadır.

Kullanılan kaynak telleri çalışmanın yapıldığı bölgede kullanılan standarda göre farklı isimlerle anılmakla birlikte genellikle ikinci malzemenin yapısına uygun kimyasal bileşime sahip olduğu anlaşılmaktadır. Örnek olarak ER70S-6 AWS standardında bir tel olup içerdiği mangan oranına göre G46 (EN ISO 14341-A) kaynak teline eşdeğerdir. Mn3Ni1CrMo ise kimyasal içeriğine göre G69 (EN ISO 16834-A) kaynak teline eşdeğerdir. ER309LSi paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan G23 (EN ISO 14343-A) kaynak teline eşdeğerdir. Burada görüldüğü gibi S355 için G46, S690 için G69, paslanmaz çelikler için (AISI 304 ve 316L) için Cr, Ni ve Mo içeren kaynak telleri kullanılmıştır. Kaynak teli DW100 (EN ISO 17632-A-T42) ve EN ISO 18276-A-T69 olması durumunda yöntem olarak FCAW geçerlidir.

Çizelge 1. Kullanılan kaynak yöntemi ve dolgu telleri

Ana malzeme	İkinci malzeme	Kaynak yöntemi	Dolgu teli	Referans
S690Q	S355J2+N	GMAW	ER70S-6	[4]
Strenx 700	S355	GMAW	G46	[5]
S690QL	S355J2+N	GMAW	G46, G69, T69	[6]
S690QT	S690MC	GMAW	G69	[7]
S690QL	AISI 316L	GMAW	Mn3Ni1CrMo	[8]
E690	2507SDSS	GTAW	ER2594	[9]
HSB690	SM355	FCAW	DW100	[10]
S690QL	AISI 304	GMAW	ER309LSi	[11]

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

S690 malzemelerin benzer olmayan malzemelerle kaynağında aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi önerilmektedir.

- Kaynak teli seçiminde yüksek dayanımlı olan S690 çeliğinin düşük alaşımlı orta dayanımlı çelik olan S355 ile kaynaklanması kaynak teli düşük dayanımlı çelik tarafına göre seçilebilir. Düşük dayanımlı çeliklerin hidrojen çatlağı riskinin yüksek dayanımlı çeliklere göre çok daha az olduğu deneysel çalışmalarda görülmüştür [12]. Böylece kaynak dikişinde hidrojen çatlağı riskinin azaltılması ve süneklik kazanması imkânı olacağı düşünülmektedir.
- S690 malzemenin paslanmaz çeliklerle kaynağında Mn içeren teller kullanılması farklı genleşme katsayılarına sahip malzemelerin birleştirilmesinde çatlak direncini

artırmaya yardımcı olurken gerilim giderme kabiliyetlerini de artırabilir. Ancak Mn oranındaki aşırı artış soğuk çatlak oluşumuna sebep olabilmektedir [13].

- TMCP olarak üretilen yüksek dayanımlı çeliklerin kaynağında FSW önemli avantajlar sunabilir [14]. Bu açıdan TCMP ile üretilmiş bir S690 sınıfından çeliğin benzer olmayan malzemelerle kaynağında çalışmaya açık bir alan olarak görülmektedir.

KAYNAKÇA

1. S. J. Vaikar, V. Narayanan, J. C. George, T. C. Kanish, ve K. D. Ramkumar, "Effect of weld microstructure on the tensile properties and impact toughness of the naval, marine-grade steel weld joints", *Journal of Materials Research and Technology*, c. 19, ss. 3724-3737, Tem. 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.06.104.
2. Z. Ye, G. Chen, W. Wang, S. Wang, J. Yang, ve J. Huang, "High-strength and high-toughness weld of S690QL HSLA steel via a high-speed high frequency electric cooperated arc welding without additional heating measures", *Materials Science and Engineering: A*, c. 880, s. 145328, 2023.
3. X. Qiang, F. Bijlaard, ve H. Kolstein, "Dependence of mechanical properties of high strength steel S690 on elevated temperatures", *Constr Build Mater*, c. 30, ss. 73-79, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.018.
4. N. N. K. Astuti, E. Surojo, T. Triyono, S. I. Cahyono, N. Muhayat, ve others, "Microstructure analysis of dissmilar metals weld between S690Q and S355J2+ N steel under flame straightening treatment", *Metalurgija*, c. 62, sy 2, ss. 219-222, 2023.
5. J. Szusta, Ł. Derpeński, Ö. Karakaş, N. Tüzün, ve S. Dobrzański, "Effect of welding process parameters on the strength of dissimilar joints of S355 and Strenx 700 steels used in the Manufacture of Agricultural Machinery", *Materials*, c. 16, sy 21, s. 6963, 2023.
6. O. Brätz *vd.*, "Mechanical properties of MAG butt welded dissimilar structural steel joints with varying strength from grade S355 up to S960", *Welding in the World*, c. 67, sy 12, ss. 2791-2802, Ara. 2023, doi: 10.1007/s40194-023-01600-9.
7. F. N. Bayock, P. Kah, P. Layus, ve V. Karkhin, "Numerical and experimental investigation of the heat input effect on the mechanical properties and microstructure of dissimilarweld joints of 690-MPa QT and TMCP steel", *Metals (Basel)*, c. 9, sy 3, Mar. 2019, doi: 10.3390/met9030355.
8. A. Ene, A. Stratan, ve I. Both, "Behaviour of Dissimilar Welded Connections of Mild Carbon (S235), Stainless (1.4404), and High-Strength (S690) Steels under Monotonic and Cyclic Loading", *Metals (Basel)*, c. 14, sy 9, s. 989, 2024.

9. L. Wang, Y. Ding, Q. Lu, Z. Guo, Y. Liu, ve Z. Cui, "Microstructure and corrosion behavior of welded joint between 2507 super duplex stainless steel and E690 low alloy steel", *Corrosion Communications*, c. 11, ss. 1-11, Eyl. 2023, doi: 10.1016/j.corcom.2022.08.005.

10. T. H. Um, K. H. Chang, J. Y. Lee, N. K. Sazid, ve M. Hirohata, "Features of Mechanical Properties and Residual Stress Distribution in Butt Joint of HSB690-SM355 Dissimilar Steel", *International Journal of Steel Structures*, c. 24, sy 3, ss. 565-578, Haz. 2024, doi: 10.1007/s13296-024-00836-5.

11. F. Güven, A. Akay, ve E. İncekar, "Parameter optimization of the dissimilar welding between AISI304 and S690QL steels using Box–Behnken design and artificial neural networks", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 2025, doi: 10.1177/09544089251330000.

12. P. Nevasmaa, "Prevention of Weld Metal Hydrogen Cracking in High-Strength Multipass Welds", *Welding in the World 2004 48:5*, c. 48, sy 5, ss. 2-18, Şub. 2013, doi: 10.1007/BF03266427.

13. J. Jiang, W. Bao, Y. Yu, ve W. Y. Wang, "Experimental study on crack propagation characteristics of welded high-strength steel Q690CFD joints", *J Constr Steel Res*, c. 225, s. 109177, Şub. 2025, doi: 10.1016/J.JCSR.2024.109177.

14. G. Sorger, E. Lehtimäki, S. Hurme, H. Remes, P. Vilaça, ve L. Molter, "Microstructure and fatigue properties of friction stir welded high-strength steel plates", *Science and Technology of Welding and Joining*, c. 23, sy 5, ss. 380-386, Tem. 2018, doi: 10.1080/13621718.2017.1399574.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN KAYNAKLI ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Dr. Fatih GÜVEN
Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, Türkiye
fatihguven@hacettepe.edu.tr - ORCID: 0000-0002-3570-9736

ÖZET

Makine tasarımında bir malzeme dayanım, darbe tokluğu, sertlik, aşınma direnci ve korozyon dayanımı gibi özellikleri dikkate alınarak seçilir. Makine imalatında kullanılan malzemenin seçimine temel olan özelliklerini koruması gerekir. Kaynaklı imalat esnek olması, robotik kaynak ile seri üretime imkân vermesi gibi sebeplerden dolayı endüstrinin önemli bir üretim yöntemidir. Ancak kaynaklı imalatla üretilen bağlantılar, kaynaklı imalat işleminin doğası gereği uygulanan ısı etkisi altında mekanik ve kimyasal özelliklerinde değişime uğrar. Bu özelliklerin değişimi büyük ölçüde malzemenin ısı ve varsa basınç etkisi ile birlikte mikroyapısında meydana gelen değişimlerin bir sonucudur. Mikroyapı değişimlerini sınırlamak veya zararlı kalıntı ve fazların oluşumunu engellemek için kaynak dikişinde ısı girdisinin kontrol edilmesi bir noktaya kadar çözüm olabilse de ilave kaynak metali kullanılması durumunda kaynak metalinin alaşım elementleri kaynaklı bağlantının mekanik özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir. Alaşım elementinin türüne ve miktarına göre kaynak dikişinin mekanik özelliklerinde olumlu veya olumsuz değişiklikler olabilmektedir. Bu nedenle kaynak teli seçiminde, kaynak telinin içeriğinde bulunan alaşım elementlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu çalışma kapsamında literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve uygulamaya yönelik olarak kaynak telinin seçimine esas teşkil eden alaşımların mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak teli seçimi, Gazaltı kaynağı, Dayanım

THE EFFECT OF ALLOYING ELEMENTS ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED STEELS

Dr. Fatih GÜVEN

Hacettepe University, Başkent OSB Vocational School of Technical Sciences,
Department of Machinery and Metal Technologies, Ankara, Türkiye
fatihguven@hacettepe.edu.tr - ORCID: 0000-0002-3570-9736

ABSTRACT

In machine design, material selection is conducted by considering properties such as strength, impact toughness, hardness, wear resistance, and corrosion resistance. It is essential that the materials used in machine manufacturing maintain the fundamental characteristics upon which their selection was based. Welded fabrication is a significant production method in industry due to its flexibility and suitability for mass production through robotic welding. However, welded joints experience changes in their mechanical and chemical properties under the influence of heat, which is inherent to the welding process. The alteration of these properties is primarily a result of microstructural changes occurring due to the effects of heat and, where applicable, pressure. While controlling the heat input in the weld bead may offer a partial solution to limit microstructural changes or prevent the formation of detrimental residues and phases, the alloying elements of the filler metal significantly influence the mechanical properties of the joint when supplementary weld metal is utilized. Variations in the type and quantity of alloying additions can result in either improvements or degradations in the weld bead's mechanical performance. Therefore, in the selection of the welding wire, the alloying elements within its composition must be accurately determined. Within the scope of this study, existing literature was reviewed, and the effects of alloys, which form the basis for welding wire selection, on the microstructure and mechanical properties were systematized for practical applications.

Keywords: Welding wire selection, Gas metal arc welding, Strength

1. GİRİŞ

Çeliklerin üretiminde çekme dayanımı, tokluk, korozyon direnci, sertlik ve süneklik gibi özellikleri geliştirmek amacıyla demir elementine çeşitli alaşımlar eklenmektedir. Çeliğin kaynaklı imalatı esnasında kullanılan ilave metalde de benzer alaşım elementleri bulunmakla birlikte kaynak dikişinin özelliğini geliştirmek için farklı oranlarda alaşım elementleri de kullanılabilmektedir.

Çelikler içerdiği alaşım elementlerine ve üretim yöntemine göre farkı mikroyapılara ve fazlara sahip olabilmektedir. Bu mikroyapılar ısı etkisi altında değişikliğe uğradığında çeliğin mekanik özellikleri de değişmektedir. Kaynaklı imalatta kullanılan ısı kaynak dikişinde veya birleştirilen malzemelerin bir kısmında mikroyapıyı etkilemektedir. Çelikler, içerdiği alaşım elementlerine göre ferrit, perlit, beynit ve martenzit gibi yapılar göstermektedir. Bu yapılar kaynaklı çeliklerin de mekanik özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. Ancak alaşım elementlerinin miktarında yapılan artışlar genellikle malzemenin sertleşebilirliğini artırarak kaynak bölgesinde gevrek bir yapı olan martenzit oluşumu riskini ve buna bağlı olarak soğuk çatlama hassasiyetini tetikleyebilmektedir. Kaynak metalinin mikroyapısı tane boyutu, inklüzyon dağılımı ve ikincil faz çökelmeleriyle farklı karaktere sahip olabilir.

Bu çalışma kapsamında, literatürde yer alan araştırmalar incelenerek farklı alaşım elementlerinin kaynaklı çelik birleştirmelerinde mikroyapı değişimleri ve bu yapısal değişimlerin sertlik, çekme dayanımı ve tokluk gibi kritik mekanik özellikler üzerindeki etkilerini derlenmiştir.

2. ÇELİKLERDE GÖRÜLEN MİKROYAPILAR

Çelikler içerdikleri alaşım elementlerine ve üretim yöntemlerine bağlı olarak farklı mikroyapılara sahip olabilmektedir.

Ferrit yapıları, çeliklerin kaynak dikişinde en yaygın görülen yapıdır ve farklı formlarda bulunabilir. Tane sınırı ferriti, soğuma sırasında ilk oluşan fazdır ve eski östenit tane sınırları boyunca çekirdeklenir. Genellikle sünekliği artırır ancak yüksek miktarı bulunması mukavemeti düşürebilir. İğnemsi ferrit, kaynak metalurjisinde en arzu edilen yapıdır. Karmaşık bir yönelime sahip ince iğne benzeri tanelerden oluşur. Bu karmaşık yapı, çatlak ilerlemesine karşı direnç göstererek hem yüksek mukavemet hem de çok iyi düzeyde darbe tokluğu sağlar [1], [2], [3]. Isı girdisi de iğnemsi ferrit oluşumundaki önemli etkenlerden biridir [4]. Widmanstätten ferriti ise tane sınırlarından tane içine doğru plakalar halinde büyür [5]. Bu yapı, martenzit oluşumuna sebebiyet verebilir ve toklukta bir miktar azalmaya yol açar [6].

Perlit, ferrit ve sementit lamellerinden oluşan tabakalı bir yapıdır. Yavaş soğuma hızlarında oluşur. Kaynak dikişinde perlit miktarının artması sertliği artırırken, darbe tokluğunun azalmasına neden olabilir.

Beynit, ferrit ve karbürlerin dağılımından oluşan, perlit ile martenzit arasında bir dönüşüm sonucu oluşmaktadır. Üst beynit ve alt beynit olarak türleri vardır. Daha yüksek sıcaklıklarda oluşan üst beynit genellikle düşük tokluk sergiler. Diğeri ise alt beynit olarak isimlendirilmektedir ve yapısı iğnemsi ferrit gibi daha ince dağılımlıdır ve mukavemet-tokluk dengesi açısından daha verimlidir.

Martenzit, çok hızlı soğuma sonucunda karbonun kafes yapısında hapsolmasıyla oluşan, aşırı doymuş ve iğnemsi bir yapıdır. Yüksek sertlikte olup oldukça kırılgandır ve kaynaklı birleştirmelerde tokluğu düşürmektedir [7] ve kaynaklı birleştirmelerde soğuk çatlama riskini artıran temel unsurdur.

Kalıntı östenit ise hızlı soğuma veya silisyum gibi alaşım elementlerinin etkisiyle oda sıcaklığında dönüşüme uğramadan kalan östenit fazıdır. Bu fazın varlığı, malzemenin sünekliğini ve yorulma direncini olumlu yönde etkileyebilir ancak kararsız yapısı çalışma sırasında martenzite dönüşerek iç gerilmelere yol açabilir. M-A (Martenzit-Östenit) bileşenleri, tokluğu düşürmekte ve çekme testlerinde çatlak başlangıç noktası olarak görülmektedir [8], [9], [10].

Malzemenin tokluğunu olumsuz yönde etkileyen bileşenler M-A, poligonal ferrit (PF), granüler beynit (GB) ve beynitik ferrit (BF) yapılarıdır [11].

Paslanmaz çeliklerde, hücresel dendritik alt tanelerin çekirdek kısmı sıklıkla nikel (Ni) bakımından fakirleşme ve krom (Cr) bakımından zenginleşme göstererek dendrit benzeri ağlar oluşturur [12]. Dendrit oluşumu soğuma hızına bağlıdır ve bu durum kaynakların mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir [13]. Mn, Ni ve Cu elementleri ince çökeltiler oluşmasına katkı sağlayarak tane büyümesi engeller ve ince taneli bir yapı oluşmasını sağlar. Bu sayede kaynak dikişinin dayanımını ve tokluğunu artırır. Bu elementlerin aynı zamanda katılaşma esnasında ferrit ve östenit fazlarının dengesi üzerine etkili olduğu görülmüştür [14]. Östenit fazı özellikle korozyon direnci üzerinde etkilidir.

3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Kaynak tellerinde bulunan alaşım elementlerini kaynak dikişinin ve nüfuziyet sınırlarının mikroyapısını ve dolayısıyla mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Mikroyapıda oluşan değişimler tane boyutunun değişimi, faz dönüşümleri ve kalıntılar aracılığıyla çekme dayanımı, darbe tokluğu, süneklik ve korozyon dayanımı gibi mekanik özellikleri etkiler. Bu

etki kaynakla birleştirilen malzemelere, ilave kaynak metalinin türüne, kaynak yöntemine ve ısı girdisine göre artış ve azalış yönünde olabilir. Litetatürde Mn, Ni, Cu, Cr, Ti, V, Cr, Mo ve Si elementlerinin çeliklerin kaynağında mikroyapı ve mekanik özellikler etkisi üzerine çalışmalar mevcuttur. Karbon (C) ve Demir (Fe) çeliklerin doğasında bulunan elementler olup C miktarı da mekanik özellikler üzerinde doğrudan etkilidir. Alaşım elementlerinin etkisi C eşdeğeri olarak ifade edilerek doğrudan malzemenin kaynaklanabilirliği üzerinde etkilidir. Çalışmada temel element olan Fe ve C dışındaki alaşım elementlerinin etkisi üzerinde durulmuştur. Yapılan literatür çalışmasında her bir alaşım elementinin çelik sınıfına göre farklı sonuçlara sebep olduğu görülmüştür.

Mangan (Mn)

Mn çeliklerde bulunan önemli bir elementtir ve Mn içeriğinin artırılması genellikle kaynak metalinde ince tane boyutu oluşumuna katkı sağlar. Bu durum, kaynaklı birleştirmenin mukavemetini ve tokluğunu artırabilir. Ancak, aşırı Mn miktarı martenzit/kalıntı östenit adacıklarının ve tane sınırı karbürlerinin oluşumuna yol açarak tokluğu azaltabilir. Mn, katı çözelti sertleşmesine katkıda bulunarak kaynak metalinin mukavemetini ve sertliğini artırır [15]. Kaynaklı birleştirmelerin darbe tokluğu, Mn içeriğinden önemli ölçüde etkilenebilir. U71Mn ray çeliğinde Mn içeriğinin azaltılması, darbe tokluğunu %65 oranında iyileştirdiği görülmüştür [16]. Bununla birlikte aşırı Mn gevrekleşmeye yol açabileceği için, dayanım ve tokluğu dengelemek açısından Mn içeriği optimize edilmelidir [15].

Nikel (Ni)

Nikel ilavesi, kaynak metalinin mikroyapısını incelterek iğnemsi ferrit (AF) oluşumunu teşvik eder, tane sınırı ferriti (GBF) ve martenzit-östenit (M-A) bileşenlerinin varlığını ise azaltır. Bu incelme, kaynak metalinde tokluk iyileşmesine ve mukavemetine katkı sağlar [17]. Taneleri inceltir, kalıntı östenit miktarını artırır; özellikle düşük sıcaklıklarda tokluğu ve sünekliği iyileştirir [18].

Nikel ilavesinin orta karbonlu yay çeliğinde martenzit başlangıç (Ms) sıcaklığını düşürdüğü, sertleşebilirliği artırdığı, akma gerilmesini iyileştirdiğini görülmüştür [19]. Nikel, kaynaklı çeliklerin korozyon direncini artırmaktadır. Nikel içeren çeliklerde martenzitin daha iyi dağılımı, çukurcuk (pitting) potansiyelinin iyileşmesine ve daha düşük korozyon akım yoğunluğuna yol açmaktadır [20].

Krom (Cr)

Krom, koruyucu oksitler oluşturarak kaynaklı birleştirmelerin korozyon direncini artırır. Cr-Ni-Cu düşük alaşımlı çeliğin kaynak metalinde krom içeriğinin artırılması, birincil ferrit miktarının azalmasına karşın iğnemsi ferrit ve mikrofazların artmasıyla birlikte mikroyapının iyileşmesine yol açarak uzama miktarı azalmasına rağmen akma ve çekme mukavemetinin, sertliğin ve Charpy V-çentik darbe tokluğunun iyileşmesine yardımcı olmuştur [21]. Krom, kaynaklı birleştirmelerde ısıdan etkilenen bölgenin (HAZ) özelliklerini etkiler. Yüksek krom içeriği, kaynak metalini güçlendiren ancak darbe tokluğunu olumsuz etkileyen kaba M-A bileşenlerinin oluşmasına yol açabilir [22]. Yüksek Cr miktarı, özellikle yüksek manganlı çeliklerde sertliği artırırken tokluğu azaltabilir [23].

Molibden (Mo)

Molibden mikroyapı dönüşümlerini etkilemektedir. Deforme olmuş östenitin poligonal ferrite dönüşümünü engellemekte, iğnemsi ferrit ve granüler beynit oluşumunu teşvik etmektedir [24]. Ayrıca Mo, kalıntı östenit hacim oranını ve dislokasyon yoğunluğunu artırarak martenzit iğnelerini inceltmektedir [25]. X80 boru çeliğinde Molibden ilavesi belirli soğuma hızlarında akma ve çekme mukavemetini iyileştirmiştir [24]. Fe-Co-Cr rulman çeliğinde yapılan bir çalışmada Mo içeriğinin artmasıyla daha yüksek mukavemet edilmiştir ancak darbe özelliği için optimum Mo oranının yakalanması gerekmektedir [25]. Molibdenin süper martenzitik paslanmaz çeliklerde sülfürlü gerilmeli korozyon çatlağına (SSCC) karşı direnci artırdığı, pasif filmi iyileştirdiği ve hidrojen gevrekleşmesine karşı faydalı olabilen kalıntı östenit oranını yükselttiği gözlemlenmiştir [26].

Vanadyum (V)

Vanadyum ilavesi, çeliğin tane yapısını incelterek mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlamaktadır. Tane büyümesini engelleyen vanadyum karbonitrürleri oluşturarak daha ince bir mikroyapı oluşmasına katkı sunar [27]. Arivazhagan vd. 9Cr-1Mo çeliği üzerine yaptıkları çalışmada değişken miktarlarda niyobyum ve vanadyum içeren kaynak metalleri ile Charpy V-çentik darbe testleri gerçekleştirilmiştir ve vanadyum ve niyobyum miktarı azaltılarak kaynak metali tokluğunun iyileştirilebileceğini ifade etmiştir [28]. Lei vd. [29] çeşitli vanadyum içeriklerine sahip kaynak telleri kullanarak yaptıkları çalışmada vanadyum ilavesinin karbon ile öncelikli olarak VC (vanadyum karbür) oluşturabildiğini, VC çökelmesinin, kaynak dikişinin sertliğini ve çekme mukavemetini artırabilmesine karşın darbe tokluğunu düşürdüğünü ifade etmiştir.

3.2. Alaşım elementlerinin bileşik etkisi

Ahmed vd. [30] 18Ni(350) nikel ve molibden oranlarının maraging çeliğinin faz dönüşümü ve mekanik özellikler üzerinee etkisini araştırmıştır. Çalışmada molibden veya nikel konsantrasyonu ağırlıkça sırasıyla %7,5 veya %24'ten büyük olduğunda, östenit fazı oda sıcaklığına kadar kararlı kalmaktadır. Hem molibden hem de nikel alaşımlı çeliklerde östenit fazı, malzemenin sıvı azota daldırılması veya soğuk işleme tabi tutulmasıyla martenzite dönüştürülebilmiştir. Ancak, %7,5 Mo ve %24 Ni kombinasyon halinde eklendiğinde, oda sıcaklığında elde edilen östenit fazı, sıvı azotla su verme yapıldığında ve hatta %95'ten fazla kesit daralması sağlayacak şekilde soğuk haddelendiğinde dahi martenzite dönüşmemiştir.

Bhole vd. [31] toz altı ark kaynağı yöntemiyle, Ni, Mo ve Ni ile Mo'nun birlikte ilave edilmesinin bir API HSLA-70 çeliğinin darbe tokluğu üzerindeki yaptığı çalışmada Ni ilavesinin, kaynak metalinde iğnemsi ferrit (AF) oluşumunu baskılayarak düşük darbe tokluğuna ve artan bir kırılma görünümü geçiş sıcaklığına neden olduğunu belirtmiştir. Çalışmada ayrıca, kaynak metalinde Ni ve Mo'nun birlikte bulunması, tane sınırı ferriti (GBF) hacim oranını azalttığı ve AF oluşumunu teşvik ettiği, Mo içeriğinin artması, iğnemsi ferritin baskın olduğu bir kaynak metali mikroyapısı oluşturduğu ifade edilmiştir.

Mn östenit sabitleyici olarak göre yapmaktadır ancak Cr ve Mo ile bulunduğunda bu özelliğinde değişkenlik olabilmektedir. Wang vd. [32] yüksek azotlu çelikler üzerine yaptıkları çalışmada Cr tarafından manganın östenit sabitleyici özelliğinin zayıflatıldığı ancak Mo ile birlikte bu özelliğinin arttığını söylemiştir. Çalışmada ayrıca kromun ferrit sabitleyici özelliği Mn artışı ile birlikte artarken Molibdenin bu özelliği ters yönde etkilenmiştir.

Jiang vd. [33] yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (HSLA) çeliklerin kaynak metallerinde alaşım elementlerinin metalik olmayan kalıntıların kimyasal kompozisyonunun darbe tokluğu ve mikroyapı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada C-Mn-Si-Cu teli kullanılarak üretilen kaynak metalinde, iğnemsi ferrit plakalarının sınırlarında konumlanmış Mn ve Si bazlı küresel oksit kalıntıları gözlemlenmiştir. Kaynak tellerine Mn ve Ti eklendiğinde, iğnemsi ferrit plakaları içindeki kalıntılar, daha az sayıda birincil iğnemsi ferrit plakasının nispeten daha büyük boyutlara ulaşmasına izin verdiği ve halihazırda var olan ferrit plakaları üzerinde çekirdeklenen ikincil iğnemsi ferritlerin, mikroyapıyı etkili bir şekilde incelttiği belirtilmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Alaşım elementlerinin kaynaklı çeliklerin mikroyapısına ve mekanik özelliklerine etkisi üzerinde literatür taraması yapılmış ve genel sonuçlar derlenmiştir. Ancak bulguların çoğu kontrollü laboratuvar koşullarına dayanmaktadır ve endüstriyel uygulamalarda çok pasolu ve büyük ölçekli kaynaklarda, farklı kaynak ortamlarına ve değişkenlerine bağlı olarak ek karmaşıklıklar ortaya çıkarabilir ve burada bahsedilen etkilerden farklı sonuçlar elde edilebilir. Özellikle elementlerin ayrı ayrı etkilerinin ötesinde farklı alaşım elementlerinin birlikte bulunması ve bu elementlerin oranı tamamen farklı sonuçlar ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Bundan dolayı genel olarak alaşım elementlerinin etkileri verilmekle birlikte daha iyi sonuçlar elde etmek için her kaynak dikişine özel bir çalışma yapılması yerinde olacaktır.

Eser elementlerin etkileri, ana alaşım elementlerine kıyasla daha az sistematik olarak incelenmiştir. Faz dönüşümlerinin ve mikroyapı-mekanik özellik ilişkilerinin modellenmesi, özellikle karmaşık ve yüksek alaşımlı çelikler için hala yetersizdir. Alaşım elementleri arasındaki destekleyici ve engelleyici etkileşimler kaynaklı bağlantının yapıldığı şartlara bağlıdır ve tamamen öngörülebilir değildir.

KAYNAKÇA

1. C. Capdevila, C. Garcìa-Mateo, J. Chao, ve F. G. Caballero, “Effect of V and N precipitation on acicular ferrite formation in sulfur-lean vanadium steels”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, c. 40, ss. 522-538, 2009.
2. W. Wang, Y. Shan, ve K. Yang, “Study of high strength pipeline steels with different microstructures”, *Materials Science and Engineering: A*, c. 502, sy 1-2, ss. 38-44, 2009.
3. J. C. F. Jorge *vd.*, “Microstructure characterization and its relationship with impact toughness of C--Mn and high strength low alloy steel weld metals--a review”, *Journal of Materials research and technology*, c. 10, ss. 471-501, 2021.
4. L. Y. Lan, C. L. Qiu, D. W. Zhao, X. H. Gao, ve L. X. Du, “Effect of single pass welding heat input on microstructure and hardness of submerged arc welded high strength low carbon bainitic steel”, *Science and Technology of Welding and Joining*, c. 17, sy 7, ss. 564-570, 2012.
5. R. Otterberg, R. Sandström, ve A. Sandberg, “Influence of Widmanstätten ferrite on mechanical properties of microalloyed steels”, *Metals Technology*, c. 7, sy 1, ss. 397-408, 1980.
6. B. Mintz, A. Qaban, ve S. Naher, “Further insights on compositional control and heat treatment for improving the impact behaviour of hot-rolled steels containing Nb and Al”, *Mater Des*, c. 190, s. 108601, 2020.

7. B. Li, P. Xu, F. Lu, H. Gong, ve H. Cui, "Microstructure Characterization of Fiber Laser Welds of S690QL High-Strength Steels", *Metallurgical and Materials Transactions B*, c. 49, sy 1, ss. 225-237, 2018, doi: 10.1007/s11663-017-1153-z.

8. A. Guillala, N. Abdelbakib, M. Gaceba, ve M. Bettayeba, "Effects of martensite-austenite constituents on mechanical properties of heat affected zone in high strength pipeline steels-review", *Chem. Eng*, c. 70, ss. 583-588, 2018.

9. A. Lambert-Perlade, A.-F. Gourgues, J. Besson, T. Sturel, ve A. Pineau, "Mechanisms and modeling of cleavage fracture in simulated heat-affected zone microstructures of a high-strength low alloy steel", *Metallurgical and materials transactions A*, c. 35, ss. 1039-1053, 2004.

10. C. L. Davis ve J. E. King, "Effect of cooling rate on intercritically reheated microstructure and toughness in high strength low alloy steel", *Materials Science and technology*, c. 9, sy 1, ss. 8-15, 1993.

11. D. C. Ramachandran *vd.*, "Role of bainitic microstructures with MA constituent on the toughness of an HSLA steel for seismic resistant structural applications", *Materials Science and Engineering: A*, c. 801, s. 140390, 2021.

12. H. Inoue ve T. Koseki, "Clarification of solidification behaviors in austenitic stainless steels based on welding process", *Nippon steel technical report*, c. 95, ss. 62-70, 2007.

13. S. Saha, M. Mukherjee, ve T. K. Pal, "Microstructure , Texture , and Mechanical Property Analysis of Gas Metal Arc Welded AISI 304 Austenitic Stainless Steel", c. 24, sy March, ss. 1125-1139, 2015, doi: 10.1007/s11665-014-1374-0.

14. G. Deyang, H. Jianyun, F. Junjie, L. Xiaokun, ve Z. Siyu, *Influence of Alloying Elements on the Organization and Properties of Molten Metals*, c. 62. 2024. doi: 10.1007/978-981-97-8883-5_8.

15. N. Pourkia, P. Marashi, R. Leylabi, S. A. Tabatabaei, ve H. Torshizi, "The Effect of Weld Metal Manganese Content on the Microstructure, Mechanical Properties and Hot Crack Susceptibility of Helically Welded Linepipes", içinde *International Pipeline Conference*, 2008, ss. 101-106.

16. C. Wang, "Effect of manganese content on microstructure and properties of welded joints of U71Mn rails", *Front Mater*, c. 12, 2025, doi: 10.3389/fmats.2025.1597601.

17. H. Oktadinata, S. B. Pratomo, ve A. Gumilar, "Effect of nickel addition on the microstructure and toughness of shielded metal arc welded ss400 steel", *Materials Science Forum*, c. 1029 MSF, ss. 41-46, 2021

18. Q. Cen, W. Wang, B. Zhang, Z. Yan, Y. Wang, ve M. Zhang, "Influence of Ni Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of 3.5Mn Medium-Mn Steel", *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci*, c. 53, sy 11, ss. 4034-4046, Kas. 2022

19. Q. Yu, Y. Zhao, ve F. Zhao, "Influence of Nickel on Microstructure and Mechanical Properties in Medium-Carbon Spring Steel", *Materials*, c. 17, sy 10, May. 2024, doi: 10.3390/ma17102423.

20. C. A. D. Rodrigues, R. M. Bandeira, B. B. Duarte, G. Tremiliosi-Filho, V. Roche, ve A. M. Jorge, "The Influence of Ni Content on the Weldability, Mechanical, and Pitting Corrosion Properties of a High-Nickel-Bearing Supermartensitic Stainless Steel", *J Mater Eng Perform*, c. 30, sy 4, ss. 3044-3053, Nis. 2021, doi: 10.1007/s11665-021-05600-y.

21. M. H. Avazkonandeh-Gharavol, M. Haddad-Sabzevar, ve A. Haerian, "Effect of chromium content on the microstructure and mechanical properties of multipass MMA, low alloy steel weld metal", *J Mater Sci*, c. 44, sy 1, ss. 186-197, Oca. 2009, doi: 10.1007/s10853-008-3103-2.

22. G. Zhu, C. Guo, ve H. Kong, "Influence of Cr content in flux cored wire on mechanical properties of low alloy steel weld metal", *Jinshu Rechuli/Heat Treatment of Metals*, c. 43, sy 1, ss. 81-85, Oca. 2018.

23. I. El-Mahallawi, R. Abdel-Karim, ve A. Naguib, "Evaluation of effect of chromium on wear performance of high manganese steel", *Materials Science and Technology*, c. 17, sy 11, ss. 1385-1390, 2001, doi: 10.1179/026708301101509340.

24. F. Xu *vd.*, "Effects of Mo and Controlled Cooling on Microstructure and Properties of Thick-Wall High-Strength Pipeline Steel", *Steel Res Int*, c. 94, sy 10, Eki. 2023, doi: 10.1002/srin.202200923.

25. C. Guo, H. Chi, J. Gu, L. Dong, ve L. Zhu, "Effect of Mo on microstructure and strength and toughness of Fe-Co-Cr bearing steel", *Jinshu Rechuli/Heat Treatment of Metals*, c. 50, sy 3, ss. 150-157, Mar. 2025, doi: 10.13251/j.issn.0254-6051.2025.03.025.

26. M. Monnot, V. Roche, R. Estevez, M. Mantel, ve R. P. Nogueira, "Molybdenum effect on the Sulfide Stress Corrosion of a super martensitic stainless steel in sour environment highlighted by Electrochemical Impedance Spectroscopy", *Electrochim Acta*, c. 252, ss. 58-66, Eki. 2017, doi: 10.1016/j.electacta.2017.08.165.

27. M.-W. Tong, Z.-X. Yuan, K.-G. Zhang, ve X.-L. Rui, "Influence of vanadium on microstructure and mechanical properties of microalloyed steels under different processes", *Jinshu Rechuli/Heat Treatment of Metals*, 2010.

28. B. Arivazhagan, R. Prabhu, S. K. Albert, M. Kamaraj, ve S. Sundaresan, "Microstructure and mechanical properties of 9Cr-1Mo steel weld fusion zones as a function of weld metal composition", *J Mater Eng Perform*, c. 18, sy 8, ss. 999-1004, Kas. 2009, doi: 10.1007/s11665-008-9349-7.

29. Y. Lei, X. Wang, Q. Zhu, ve F. Liu, "Effect of Vanadium on Microstructure and Mechanical Properties of TIG Weld Joint of China Low Activation Martensitic Steel", *Journal of Fusion Energy*, c. 34, sy 5, ss. 1112-1117, Eki. 2015, doi: 10.1007/s10894-015-9904-9.

30. M. Ahmed, I. Nasim, ve S. W. Husain, "Influence of nickel and molybdenum on the phase stability and mechanical properties of maraging steels", *J Mater Eng Perform*, c. 3, sy 2, ss. 248-254, 1994, doi: 10.1007/BF02645850.

31. S. D. Bhole, J. B. Nemade, L. Collins, ve C. Liu, "Effect of nickel and molybdenum additions on weld metal toughness in a submerged arc welded HSLA line-pipe steel", *J Mater Process Technol*, c. 173, sy 1, ss. 92-100, Mar. 2006, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.10.028.

32. Q. Wang, B. Zhang, ve K. Yang, "Thermodynamic Calculation Study on Effect of Manganese on Stability of Austenite in High Nitrogen Stainless Steels", *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci*, c. 47, sy 7, ss. 3284-3288, Tem. 2016, doi: 10.1007/s11661-016-3532-5.

33. Q. L. Jiang, Y. J. Li, J. Wang, ve L. Zhang, "Effects of Mn and Ti on microstructure and inclusions in weld metal of high strength low alloy steel", *Materials Science and Technology*, c. 27, sy 9, ss. 1385-1390, Eyl. 2011, doi: 10.1179/026708310X12701149768052.

METAKAOLENDEN SiC PARTİKÜL TAKVİYELİ MÜLLİT SERAMİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

Öğr. Gör. TURGAY TEHÇİ
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Metalurji Programı
turgaytehci@subu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4831-0668
YAPRAK SAC
BAUER Foundations, Brisbane, Avustralya
yapraksac@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-4118-3634
Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
fcaliskan@subu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Müllit ($3Al_2O_3•2SiO_2$), yüksek ergime sıcaklığı, düşük ısıl genleşme, kimyasal kararlılık ve mükemmel sürünme direnci sayesinde ileri seramik uygulamalarında önemli bir yere sahip olmasına rağmen, kırılma tokluğunun düşük olması kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Aynı zamanda müllit rekrakter sektöründe dünyada en çok kullanılan yüksek sıcaklık izolasyon malzemelerindendir. Bu çalışmada, kaolenden hammaddesinden başlayarak müllit seramiği sentezlenmiştir. Ancak bu çalışmayı önde çıkartan bir diğer husus ise SiC partikül takviyesi ile müllit sentez sürecine ve faz dönüşüm kinetiğine etkisi incelenmiştir. Bununla birlikte, müllit fazı sentezlenmiş ve matris içine farklı oranlarda eklenen silisyum karbür partiküllerinin nihai ürünlerin mikro yapısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca mekanik aktivasyonun yapılarak tüm deney seti ikiz çalışma reçetesiyle çalışılmıştır. Mekanik aktivasyonun müllit dönüşüm kinetiği ve faz gelişimi üzerindeki rolü incelenmiştir. Elde edilen numuneler Optik Mikroskop, X-Işınları Kırınımı (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) teknikleriyle karakterize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Müllit, Kaolen, SiC, Faz Dönüşümü

PRODUCTION OF SiC PARTICLE-REINFORCED MULLITE CERAMIC COMPOSITES FROM METAKAOLIN

ABSTRACT

Mullite ($3Al_2O_3•2SiO_2$) occupies a significant position in advanced ceramic applications due to its high melting temperature, low thermal expansion coefficient, chemical stability, and excellent creep resistance; however, its low fracture toughness limits its range of applications. At the same time, mullite is one of the most widely used high-temperature insulation materials

in the refractory industry worldwide. In this study, mullite ceramics were synthesised starting from kaolin as the raw material. Another distinguishing aspect of this work is the investigation of the effects of SiC particle reinforcement on the mullite synthesis process and phase transformation kinetics. In this context, the mullite phase was successfully synthesised, and the influence of silicon carbide particles added to the matrix at different ratios on the microstructure of the final products was examined. In addition, mechanical activation was applied, and the entire experimental set was carried out using a twin experimental design. The role of mechanical activation on mullite transformation kinetics and phase development was investigated. The obtained samples were characterised using Optical Microscopy, X-ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscopy (SEM) techniques**.**

Keywords: Mullit, kaolin, SiC, Phase Conversion

1. GİRİŞ

Müllit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), yaklaşık 1850°C'lik yüksek ergime sıcaklığı, düşük ısıl genleşme katsayısı, kimyasal ve termal kararlılığı ile yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilen bir seramik oksittir. Bu özellikler, mülliti refrakter malzemeler, seramik kaplamalar, fırın astarları ve yüksek sıcaklık yapısal bileşenleri gibi geniş bir mühendislik yelpazesinde vazgeçilmez hâle getirmektedir [1-4]. Buna ek olarak, düşük termal iletkenliği nedeniyle termal bariyer kaplamalarında da önemli avantajlar sunmaktadır [5]. Bununla birlikte, monolitik müllitin düşük kırılma tokluğu ve sınırlı termal şok direnci, malzemenin dinamik yükler veya ani sıcaklık değişimleri altında kullanımını kısıtlayan temel dezavantajlardır [4,6].

Bu kısıtlamaların aşılması amacıyla seramik matris kompozitler geliştirilmiş ve müllit matrisinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için ikinci faz takviyeleri yaygın bir araştırma konusu olmuştur [7-10]. Bu takviyeler arasında silisyum karbür (SiC), yüksek sertliği, kararlılığı, termal iletkenliği ve oksidasyon direnci nedeniyle öne çıkmaktadır [11-13]. SiC'in matrise eklenmesi; çatlak kaynaklı enerji tüketimi, çatlak sapması, partikül çekilmesi gibi mekanizmalar aracılığıyla kırılma tokluğunu artırmakta ve aynı zamanda malzemenin termal şok direncine katkı sağlamaktadır [14, 15].

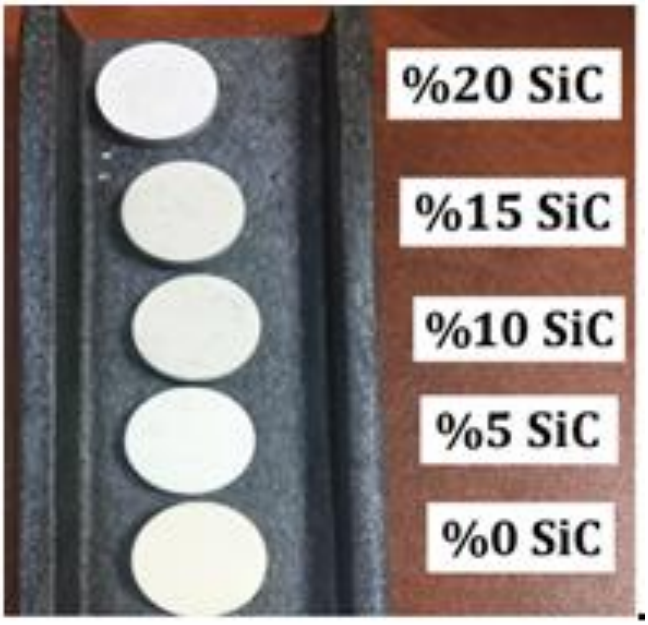
Kompozit özelliklerini belirleyen en kritik aşamalardan biri, toz hazırlama ve karıştırma süreçleridir [16, 17]. Takviye fazının matris içinde homojen dağılması, sinterleme sonrası kompaktlık, ara yüzey bağlanması ve faz dönüşüm verimliliğini doğrudan belirlemektedir [18, 19]. Bu nedenle mekanik aktivasyon işlemi, parçacık boyutunu küçülterek, yüzey alanını artırarak ve metakaolende amorflaşma oluşturarak müllit dönüşüm kinetiğini hızlandıran önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır [20-22].

Bu çalışmada kaolenden metakaolen elde edilmiş, ardından mekanik aktivasyon uygulanarak hazırlanan matris içerisine farklı oranlarda SiC partikülleri eklenmiştir. SiC katkı oranının ve mekanik aktivasyonun müllit oluşumu üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiştir. Üretilen numunelerin faz dönüşümü ve mikro yapı gelişimi Optik Mikroskop, XRD ve SEM analizleriyle değerlendirilmiş ve her iki parametrenin müllit kristalizasyonundaki rolü ortaya konulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

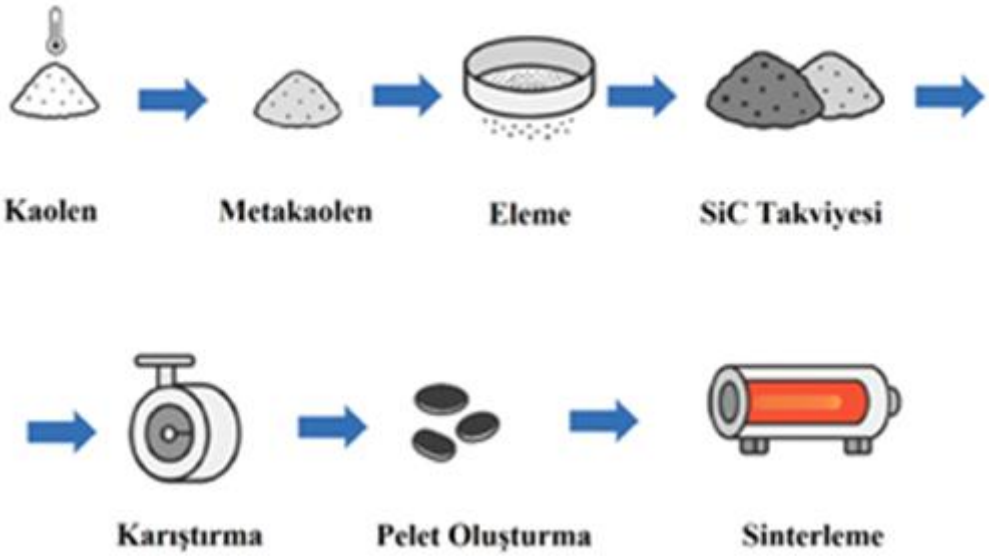
Çalışmanın amaçları doğrultusunda öncelikle kaolenin kalsinasyon işlemine tabii tutularak metakaolin elde edilmesi gerekiyordu. Bunun için kaolen ($Al_2O_3.2SiO_2,2H_2O$) etüv fırınında 900 ^{0}C'de 2 saat bekleterek kaolenin içerisindeki su moleküllerinin uzaklaşması ve dehidrasyon işlemi gerçekleştirildi. Böylece meta kaolen ($Al_2O_3.2SiO_2$) elde edildi. Ancak meta kalolenin bu hali ile müllite dönüştürülmesi mümkün değildi. Bu sorunu gidermek adına 2 mol Al_2O_3 takviyesi yapıldı. Böylece müllit için gerekli olan kimyasal kompozisyon ($3Al_2O_3.2SiO_2$) elde edildi.

Deneysel çalışmalarda nano ölçekli toz kullanımı amaçlandığı için meta kaolen tozları uygun eleklerden elenerek homojen bir toz grubu elde edildi. Aynı işlemler takviye malzemesi olarak kullanılacak olan SiC ve Al_2O_3 tozlarına da uygulandı. Elde edilen nano boyutlu meta kaolen/Al_2O_3 toz karışımına ağrılıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında SiC takviyesi gerçekleştirildi. Numune grupları iki deney parametresinin incelenmesi amacıyla iki gruba ayrıldı. Bunlar; 1- Mekanik aktivasyon işlemine tabi tutulmayan deney grubu, 2- Mekanik aktivasyona tabi olan deney grubu olarak isimlendirildi. Böylece mekanik aktivasyonun dönüşüm kinetiğine ektileri net bir şekilde tespit edilmesi amaçlandı. İlk deney grubu sadece 900 devirde 300 sn halkalı değirmende karıştırma işlemine tabi tutuldu. İkinci deney grubu ise bu işleme ilave olarak 1100 devirde 600 sn ve 3 set olarak mekanik aktivasyona tabi tutuldu. Elde edilen toz grupları preslenerek Görsel 1'de gösterildiği gibi pelet haline getirildi.



Görsel 1. SiC Takviyeli Meta Kaolen Pelet Numuneleri

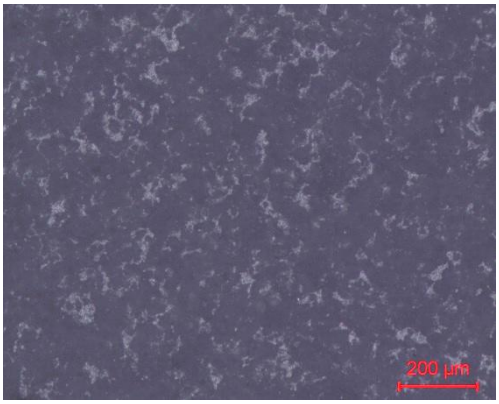
Aynı oranlarda SiC takviyesi ile hazırlanan iki deney grubundaki numuneler sinterleme işlemine tabii tutuldu. Sinterleme işlemi yatay tüp fırında Argon gazı atmosferinde ve 1450^{0}C'de 4 saat süreyle gerçekleştirildi. Müllit üretim sürecinin akış şeması Görsel 2' de aktarılmıştır.



Görsel 2. Müllit üretim sürecinin akış şeması

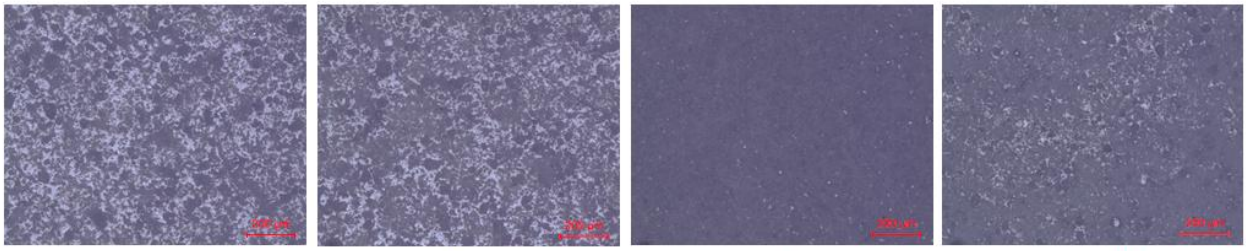
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin mikro yapı özellikleri, SiC içermeyen referans numunesinden başlayarak artan SiC takviyeleri ve mekanik aktivasyon etkisi doğrultusunda sistematik biçimde değerlendirilmiştir. Görsel 3'de katkısız müllit numunesinin mikro yapı görüntüsü 50x büyütmede gösterilmiştir. Mikro yapı verileri incelendiğinde, sinterleme sonucu oluşan tipik iğnemsi müllit kristallerinin belirgin şekilde geliştiği görülmektedir. Matris genelinde kristal morfolojisinin süreklilik göstermesi, faz dönüşümünün tamamlandığını ve metakaolenden müllite geçişin başarılı şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Katkı maddesi içermemesi nedeniyle yapı içi heterojenlik minimum düzeydedir ve tane sınırlarının nispeten keskin olması, sistemde herhangi bir ikinci fazın engelleyici veya bozucu bir etki oluşturmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle Görsel 3'teki referans numune, hem kristal bütünlüğü hem de mikro yapısal homojenliği açısından değerlendirme için ideal bir kıyaslama noktası oluşturmaktadır.



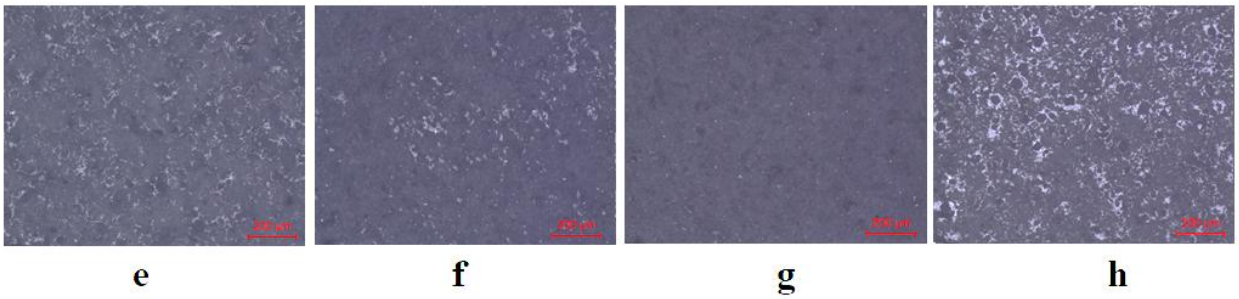
Görsel 3. Saf Müllit yapısı (%0 SiC)

Mekanik aktivasyon uygulanmayan SiC katkılı müllit numunelerinde (Görsel 4), mikro yapının genel olarak daha düzensiz, heterojen ve gözenekli bir karaktere sahip olduğu gözlenmiştir. Metakaolene aktivasyon uygulanmamış olması nedeniyle parçacık boyutları daha iri kalmış, yüzey enerjisi düşük olduğundan müllit fazı için gerekli reaksiyon kinetiği yeterince hızlanmamıştır. Bu durum, iğnemsi müllit kristallerinin tam gelişememesine, yer yer kesintiye uğrayan kristal morfolojilerine ve daha zayıf bağlanmış tane sınırlarına yol açmıştır. SiC parçacıkları matris içinde homojen dağılmadığı için bazı bölgelerde kümelenme, bazı alanlarda ise reaksiyon tamamlanmamış çekirdek bölgeler oluştuğu görülmektedir. Tüm bu etkiler birleştiğinde mekanik aktivasyonsuz numunelerde mikro yapının daha düşük bütünlüğe ve daha zayıf kristal sürekliliğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Görsel 4. Mekanik aktivasyonsuz SiC katkılı Müllit, a)%5, b)%10, c)%15, d) %20

Mekanik aktivasyon uygulanmış numuneler (Görsel 5) ise belirgin biçimde daha yoğun, daha homojen ve daha iyi yönlenmiş iğnemsi müllit kristallerine sahiptir. Aktivasyonun metakaolende yarattığı amorflaşma, parçacık boyutu küçülmesi ve yüzey alanı artışı; yüksek sıcaklıkta müllit faz dönüşümünü hızlandırmış, reaksiyonların daha düşük enerji bariyerleriyle ilerlemesini sağlamıştır. Bu nedenle SiC katkısı bulunsa dahi kristaller daha kararlı, daha uzun ve keskin morfolojiler göstermiş, tane sınırları daha net bir şekilde oluşmuştur. Aktivasyonsuz deney grubundaki aynı SiC oranlarına kıyasla gözenek miktarının azaldığı, yapının kompaktlaştığı ve SiC'in matris içinde daha dengeli dağıldığı gözlenmektedir. Dolayısıyla mekanik aktivasyonlu numuneler, mikro yapısal açıdan çok daha olumlu bir gelişim ortaya koymaktadır.

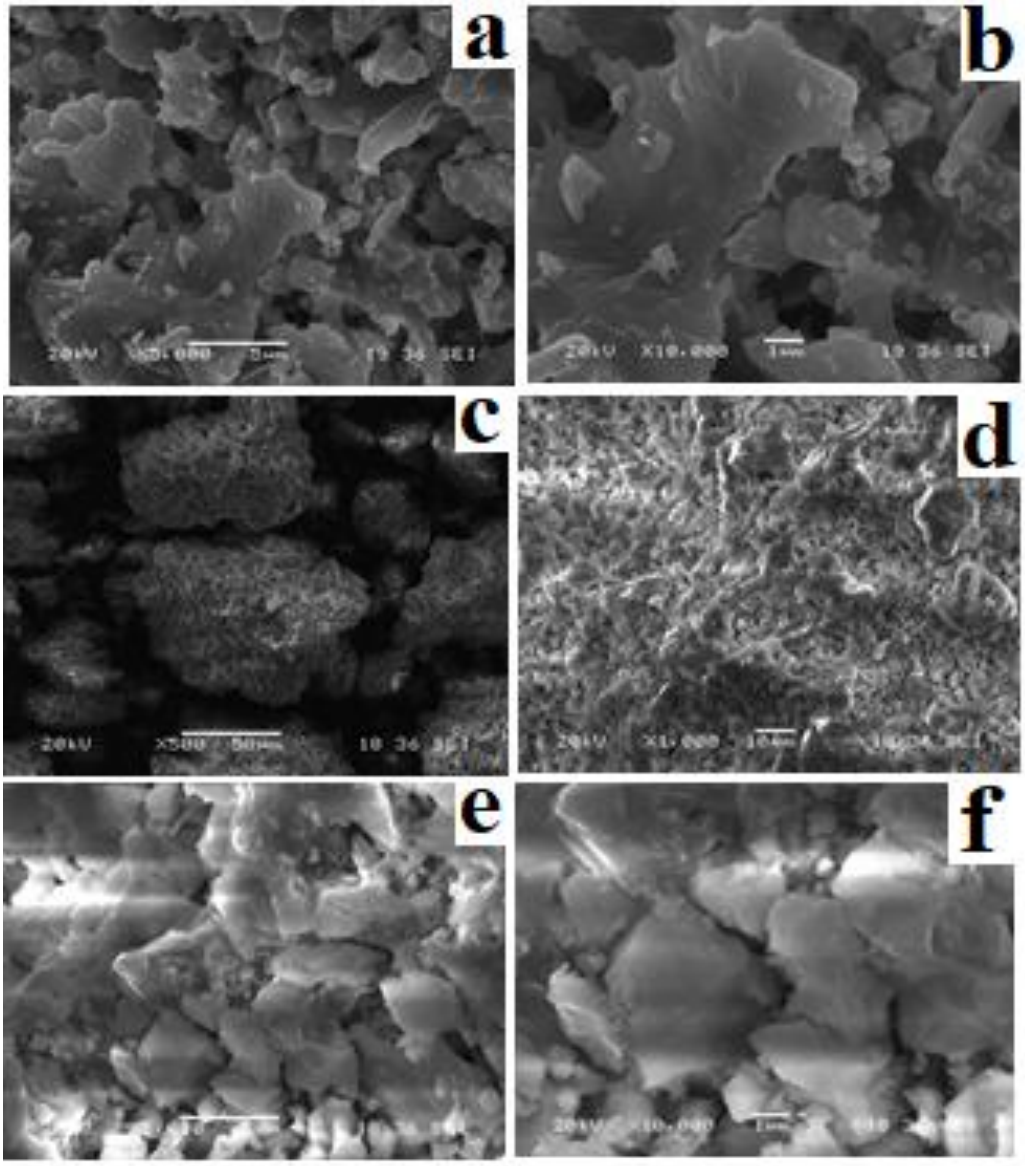


Görsel 5. Mekanik aktivasyonlu SiC katkılı Müllit, e)%5, f)%10, g)%15, h) %20

SiC katkı oranı arttıkça müllit oluşumu ve kristal gelişimi üzerinde hem olumlu hem olumsuz etkiler gözlenmiştir. Özellikle mekanik aktivasyonlu deney grubunda düşük katkı oranları (%5–%10), müllit fazı için ek çekirdeklenme bölgeleri oluşturarak kristal büyümesini desteklemiştir. Bu oranlarda müllit iğnemsi faz daha belirgin, kristaller daha sürekli ve tane sınırları daha net gözlenmiştir. Ancak katkı oranının %15–%20 seviyelerine çıkmasıyla SiC parçacıklarının

matris içinde tam olarak dağılmadığı, yığılmaların arttığı ve viskoz SiO_2 zengin bölgeler nedeniyle mikro yapıda lokal heterojenliklerin ortaya çıktığı görülmüştür. Yüksek oranlı SiC, kristal büyümesini kısmen sınırlamış ve gözenekleşmeyi artıran bir etki yaratmıştır. Bu nedenle SiC katkısının müllit dönüşüm kinetiğini düşük oranlarda geliştirici, yüksek oranlarda ise bozucu etkiler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

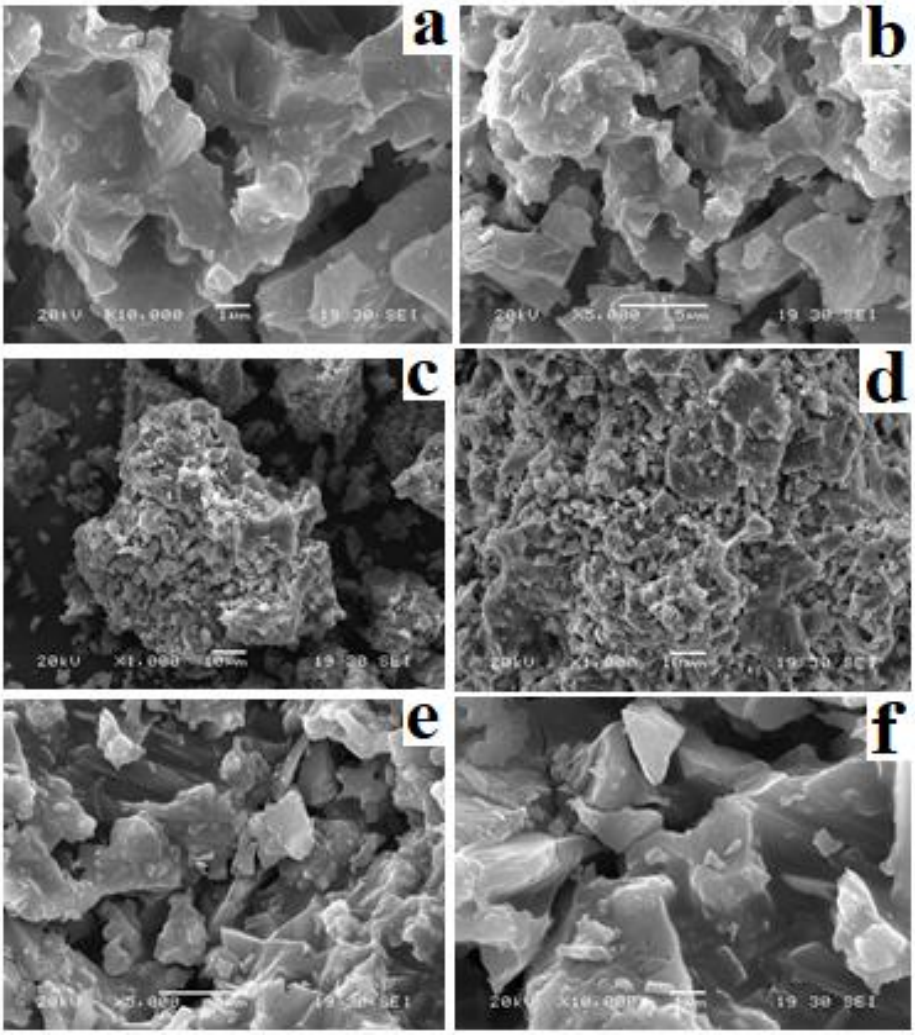
Optik mikroskop görüntülerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda hem mekanik aktivasyonsuz hem de mekanik aktivasyonlu deney grubu için SEM analizleri %10 SiC takviyesi içeren numunelere yapılmıştır. Görsel 6'da mekanik aktivasyon uygulanmadan üretilen %10 SiC katkılı numunenin SEM görüntüsü bulunmaktadır. SEM görüntüsü incelendiğinde optik mikroskop sonuçlarıyla tutarlı şekilde daha heterojen, düzensiz ve gözenekli bir mikro yapı sergilemektedir. SEM analizinde iğnemsi müllit kristallerinin belirgin bir şekilde gelişemediği, kristal yüzeylerinde kesintiye uğrayan, kısa ve tam yönlenmemiş morfolojiler bulunduğu açıkça gözlenmektedir. Bunun temel nedeni, aktivasyon uygulanmayan metakaolende parçacık boyutunun daha iri kalması ve yüzey enerjisinin düşük olmasıdır. Bu durum, müllit fazı için gerekli difüzyon ve reaksiyon kinetiğini sınırlayarak kristal büyümesini zayıflatmıştır. Ayrıca SiC partiküllerinin matris içinde tam dağılmadığı, bazı bölgelerde aglomere olmuş kümelenmeler oluşturduğu ve bu kümelerin çevresinde reaksiyonun tamamlanmadığı çekirdek alanlarının bulunduğu görülmektedir. Bu aglomerasyonlar hem müllit dönüşümünü yavaşlatmakta hem de gözenek miktarını artırarak yapı bütünlüğünü düşürmektedir. Tane sınırlarının gevşek, net olmayan biçimde ortaya çıkması, bu grubun aktivasyonlu numunelere kıyasla daha zayıf bağlanma ve daha düşük kompaktlık sergilediğini göstermektedir. Mekanik aktivasyonsuz %10 SiC katkılı numunede SEM görüntüsü, yetersiz dönüşüm, düşük kristal bütünlüğü ve heterojen dağılım gibi mikro yapısal dezavantajları açık bir şekilde ortaya koymaktadır.



Görsel 6. Mekanik aktivasyonsuz %10 SiC katkılı Müllit SEM görüntüsü

Mekanik aktivasyon uygulanmış %10 SiC katkılı numunenin SEM görüntüsüne ise Görsel 7'de yer verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde mekanik aktivasyonsuz gruba kıyasla çok daha yoğun, homojen ve iyi yönlenmiş bir mikro yapı ortaya koymaktadır. Metakaolene uygulanan mekanik aktivasyon sonucunda oluşan amorflaşma, tane boyutu küçülmesi ve yüzey alanı artışı, müllit faz dönüşümünü belirgin biçimde hızlandırmış ve kristalizasyon davranışını iyileştirmiştir. SEM görüntüsünde iğnemsi müllit kristallerinin daha uzun, ince, yönlenmiş ve keskin morfolojilere sahip olduğu, kristaller arasında sürekli ve sağlam bağlantılar oluştuğu görülmektedir. SiC parçacıkları matris içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmış, aglomere bölgeler belirgin biçimde azalmıştır. Bu durum, hem tane sınırlarının netleşmesine hem de matriste gözenek oranının düşmesine katkı sağlamaktadır. Yapıdaki kompaktlık ve kristal sürekliliği, mekanik aktivasyonun müllit oluşum kinetiğini olumlu yönde etkilediğini, SiC varlığının ise aktivasyonla birlikte bozucu değil tam tersine düşük-orta oranlarda kristal büyümesini tetikleyen bir rol üstlendiğini göstermektedir. Sonuç olarak mekanik aktivasyonlu

%10 SiC numunesi, mikro yapı açısından en dengeli, en yoğun ve en iyi bütünlük gösteren gruplardan biri olarak değerlendirilebilir.

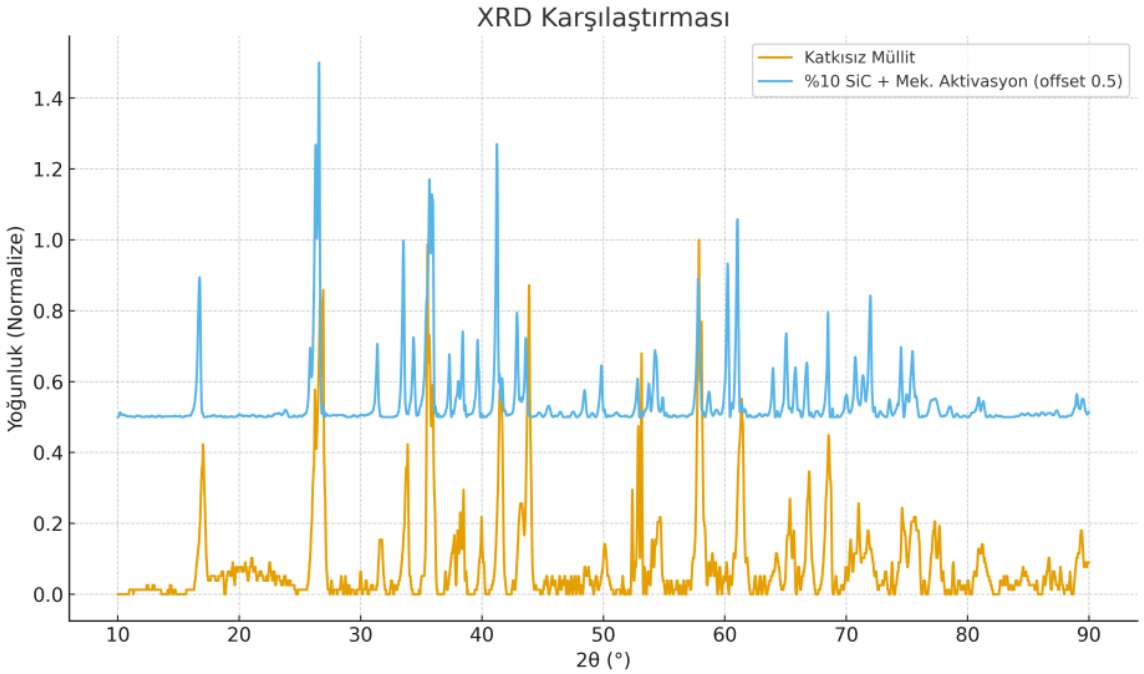


Görsel 7. Mekanik aktivasyonlu %10 SiC katkılı Müllit SEM görüntüsü

Saf Müllit (%0 SiC) ile %10 SiC katkı edilip mekanik aktivasyona tabi tutulan numunelere XRD analizleri yapıldı. Elde edilen grafiklere Görsel 8'de yer verilmiştir. Katkısız müllit numunesi, klasik müllit karakterizasyonu ile uyumlu olarak 16.4°, 26°, 40.8° ve 60° civarında belirgin müllit (M) pikleri sergilemektedir. Bu temel piklerin yüksek şiddette ve keskin formda bulunması, metakaolenden müllite dönüşümün başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Pik genişliklerinin dar olması, kristal boyutunun daha büyük, iç gerilmelerin daha düşük ve faz sürekliliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, mikro yapı incelemelerinde gözlenen iğnemsi, gelişmiş ve kesintisiz müllit kristalleri ile tamamen uyumludur.

Mekanik aktivasyon uygulanmış %10 SiC katkılı numunede ise faz bileşimi ve kristalizasyon davranışı belirgin biçimde değişmiştir. Öncelikle müllit pikleri referans numuneye göre daha keskin ve daha yüksek şiddetlidir. Bu durum, mekanik aktivasyonun metakaolende yarattığı amorflaşma, yüzey alanı artışı ve parçacık boyutu küçülmesi sayesinde müllit dönüşüm kinetiğini hızlandırdığı yönündeki mikro yapı gözlemleriyle uyumludur. Aktivasyonlu numunede kuvars piklerinin göreceli olarak azaldığı ve müllit piklerinin baskın hale geldiği

görülmektedir. Bu durum, yapılan sinterleme sırasında kuvarsın büyük ölçüde müllit fazına dönüştüğünü göstermektedir. Aynı zamanda SiC takviyesine bağlı olarak 35–42° aralığında α-SiC'ye ait karakteristik pikler net şekilde izlenmektedir. SiC fazının XRD'de tanımlanabilir şiddette gözlenmesi, partiküllerin sinterleme sırasında yapıda kararlı şekilde korunduğunu ve reaksiyonla tamamen tüketilmediğini göstermektedir. Spektrumun genel profilinde pik yoğunluğunun artması, özellikle 25–45° aralığında daha fazla alt pik oluşması, mekanik aktivasyonun reaksiyon yollarını hızlandırarak ek kristal çekirdeklenme bölgeleri oluşturduğu fikrini desteklemektedir. Bu durum mikro yapı görüntülerinde gözlenen daha uzun, daha yönlenmiş ve daha yoğun iğnemsi müllit kristalleri ile paralellik göstermektedir.



Görsel 8. XRD grafiği

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, SiC takviyesi ve mekanik aktivasyonun kaolenden müllit üretimi üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bulgular, mekanik aktivasyonun metakaolinin reaktifliğini artırarak müllit dönüşümünü hızlandırdığını ve kristal morfolojisini belirgin biçimde iyileştirdiğini göstermektedir. Düşük SiC katkıları (%5–%10) müllit büyümesini desteklerken, yüksek katkı oranları (%15–%20) aglomerasyon ve heterojenliğe yol açmıştır. XRD ve mikro yapı analizleri birlikte değerlendirildiğinde, en kompakt ve homojen yapı mekanik aktivasyon uygulanmış %10 SiC katkılı numunede elde edilmiştir. Gelecek çalışmalarda, yüksek SiC oranlarında görülen aglomerasyonun azaltılması ve farklı aktivasyon parametrelerinin etkilerinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Zhang, Xiang, Zhang, Xueying, Wang, Z., Xue, Y., Guo, A., Yan, L., Hou, F., Liu, J. (2024). Preparation and Properties of Elastic Mullite Fibrous Porous Materials with Excellent High-Temperature Resistance and Thermal Stability. Materials, 2024;17(13):3235. https://doi.org/10.3390/ma17133235

2. Badanoiu, A. I., Stoleriu, S. P., Carocea, A. C., Eftimie, M. A., Trusca, R., (2025). Influence of Synthesis Route on Composition and Main Properties of Mullite Ceramics Based on Waste. Materials, 2025;18(5):1098. https://doi.org/10.3390/ma18051098

3. Wu, R., Wang, C., Xu, G., Fan, M., Huang, Z., Zeng, T., Wang, X., (2025). Preparation and Characteristics of Porous Mullite Ceramics by 3D Printing and In-Situ Synthesis. Materials, 2025;18(5):956. https://doi.org/10.3390/ma18050956

4. Roy, R., Das, D., Rout, P. K. (2022). A Review of Advanced Mullite Ceramics. Engineered Science. 2022;18:20–30. https://doi.org/10.30919/es8d582

5. Sun, H., (2025). Preparation of Mullite Porous Ceramics by the Composite Method of Foaming and Pore-Forming Agent. Archives of Thermodynamics, 2025;46:103–109; doi: 10.24425/ather.2025.154910

6. Dang, X., Shi, S., Li, L., Luo, F., Ding, Z., (2022). Mullite Reinforced SiC/Al2O3 Composites Prepared by Microwave Sintering Based on Green Manufacturing. Hindawi Mathematical Problems in Engineering. 2022; 2022, Article ID 7782595, 13 pages. https://doi.org/10.1155/2022/7782595

7. Sultana, F., Yang, N., Xu, C., Monroe, J., El-Ghannam, A., (2024). Synthesis and characterization of functionally graded SiC-mullite thermal material. Journal of Solid State Chemistry. 2024;330:124414. https://doi.org/10.1016/j.jssc.2023.124414

8. Sun, J., Zhang, J., Zhang, X., Li, Z., Li, J., Wei, S., Zhang, W., Wang, W., Han, G., (2024). High strength mullite-bond SiC porous ceramics fabricated by digital light processing. Journal of Advanced Ceramics. 2024;13(1): 53−62. https://doi.org/10.26599/JAC.2024.9220835

9. Tian, T., Chen, P., Xiao, P., Li, Y., (2025). Influence of SiC whisker and AlPO4 particle on the resistance for bi-layer mullite/SiC coating in burner rig tests. Materials and Solidification. 2025; 1(2): 9580009. https://doi.org/10.26599/MAS.2025.9580009

10.Ibadi, M., Supriadi, S., Purnomo, H., Setianto, M. H., Wibowo, H. B., Whulanza, Y., (2025). Challenges and Innovative Solutions in Fabrication of Ceramic Matrix Composite for Ultra High-Temperature Application. Science of Sintering. 2025; OnLine-First Issue 00:14-14. https://doi.org/10.2298/SOS250116014I

11. Wan, Z., Liu, Y., Sang, S., Dai, Y., Li, Y., Zhu, T., (2022). Fracture behavior of lightweight mullite-SiC refractories with porous aggregates coated with glass ceramic. Ceramics International. 2022;48:32273–32282. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.07.169

12. Wu, X., Pan, W., Zheng, C., Wang, D., Wan, C., Ou, Y., Feng, Y., Jiang, Q., Wang, H., Che, Z., Zhang, Y., Hou, L., Yuan, W., (2025). Effect of Ball Milling on The Surface Chemical State of Al2O3 Powders. Advanced Powder Technology. 2025;36:104978. https://doi.org/10.1016/j.apt.2025.104978

13. Dong, Y., Ning, X., Han, T., Hou, H., Zang, M., Lu, H., He, X., (2025). Triethanolamine assisted ball milling activation of high alumina fly ash: Grinding kinetics, activation mechanism. Ceramics International. 2025;51: 4168–4177. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.11.393

14. Zhou, W., Zhang, Z., Li, N., Yan, W., Ye, G., (2022). A new mullite foamed ceramic prepared by direct-foaming methods in parallel with a mechanical activation technique. Ceramics International. 2022;48:20721–20730. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.04.053

15. Chen, B., Lin, B., Zhang, Z., Jia, J., Liu, W., Wen, Z., Sui, T., Yan, S., (2025). Sintering kinetics and performance evolution of silicon-rich mullite ceramics via deformation-thermogravimetric synchronous analysis. Journal of Alloys and Compounds. 2025;1042:184161. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.184161

16. Wang, W., Lian, W., Han, L., Qiao, J., Liaw, P. K., (2025). High-strength and low-thermal-conductivity porous multi-principal cation mullite ceramic. Ceramics International. 2025;51:5821–5831. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.12.028

17. Makokha, J. W., Szenti, I., Boldizsár, T., Bán, Z., Sebők-Papp, I., Nagy, L., Kozma, G., Sápi, A., Kukovecz, A., Kónya, Z., (2025). Effect of Mullite Particle Size Distribution on Crystal Morphology and Thermo- Mechanical Performance of Cordierite–Mullite Composites. Ceramics International, https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.12.166

18. Bai, S., Guan, L., Dong, B., Zhang, Y., Li, G., Zhang, X., Li, J., Chen, Y., Song, L., Zhao, B., Min, Z., Zhang, R., (2023). Preparation of SiC ceramics reinforced with in-situ generated mullite by microwave sintering. Ceramics International. 2023;49:23531–23537. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.04.186

19. Silveira, C., Mulinari, J., De Noni Junior, A., Ambrosi, A., Hotza, D., Di Luccio, M., (2025). Low-cost ceramic membranes prepared from kaolin and quartz via tape casting using different pore formers. Open Ceramics. 2025;22:100765. https://doi.org/10.1016/j.oceram.2025.100765

20. Schneider, H., Schreuer, J., Hildmann, B., (2008). Structure and properties of mullite—A review, Journal of the European Ceramic Society. 2008;28:329-344. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2007.03.017

21.˘Simonov´a, P., Gregorov´a, E., Pabst, W., Viazun, D., Bezdi˘cka, P., (2025). Temperature dependence of Young's modulus of kaolin-based silicate ceramics with mullite addition. Open Ceramics. 2025;22:100774. https://doi.org/10.1016/j.oceram.2025.100774

22. Zan, W., Ma, B., Chen, G., Cao, C., Li, M., Wang, Y., Shen, H., (2024). Preparation and properties of mullite ceramic-based porous aggregates with high closed porosity

utilizing low-voltage electroceramics waste. Construction and Building Materials. 2024;436:136943. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136943

AA 6082 Alüminyum Alaşımının MIG Kaynağında Isı Girdisinin Mikroyapı, Sertlik ve Kırılma Davranışına Etkisi

Öğr. Gör. TURGAY TEHÇİ

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Metalurji Programı

turgaytehci@subu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4831-0668

SAMET OĞURLU

Cumhur Metal Sac Boru Profil

samett.ogurlu@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-3081-124X

Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

fcaliskan@subu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-9568-7049

ÖZET

AA 6082 serisi Al-Mg-Si esaslı alüminyum alaşımları, çökelme sertleşmesine dayalı mekanik özellikleri ve yapısal uygulamalara uygunlukları nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımların MIG kaynağı ile birleştirilmesinde uygulanan ısı girdisi, kaynak metalinin katılaşma davranışını, ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) genişliğini ve mekanik özellik dağılımını doğrudan etkilemektedir. Özellikle iç köşe (PB) pozisyonunda ve tek paso gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında, amper değerinin seçimi kaynaklı bağlantının bütünlüğü açısından kritik bir parametre hâline gelmektedir.

Bu çalışmada, AA 6082 alüminyum plakaların PB pozisyonunda tek paso MIG kaynağı ile birleştirilmesinde farklı kaynak akımı değerlerinin nüfuziyet, mikro yapı evrimi, sertlik dağılımı ve kırılma davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kaynaklı numuneler optik mikroskop ile mikroyapısal olarak değerlendirilmiş, Vickers mikrosertlik ölçümleri ile ana metal-ITAB-kaynak metali arasındaki mekanik geçişler belirlenmiş ve kırma testleri ile bağlantının yük taşıma davranışı analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, ısı girdisinin artışıyla birlikte nüfuziyetin arttığını, ancak aşırı ısı girdisinin ITAB kaynaklı mekanik zayıflamalara yol açabildiğini ortaya koymaktadır. Çalışma sonuçları, PB pozisyonunda tek paso MIG kaynak uygulamaları için uygun amper aralığının belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: AA 6082, MIG Kaynağı, Isı Girdisi, ITAB, Vickers Mikrosertlik

EFFECT OF HEAT INPUT ON MICROSTRUCTURE, HARDNESS AND FRACTURE BEHAVIOUR OF AA 6082 ALUMİNUM ALLOY IN MIG WELDING

ABSTRACT

AA 6082 Al-Mg-Si aluminum alloys are widely employed in structural applications due to their precipitation-hardening capability and balanced mechanical properties. During MIG welding, the applied heat input plays a decisive role in determining weld pool behavior, heat-affected zone (HAZ) characteristics, and mechanical property distribution. This effect becomes particularly critical in single-pass inside-corner (PB position) welding, where current selection governs penetration and joint integrity.

In this study, the effects of different welding current levels on penetration capability, microstructural evolution, hardness distribution, and fracture behavior of AA 6082 aluminum joints produced by single-pass MIG welding in the PB position were experimentally investigated. The welded joints were characterized using optical microscopy, Vickers microhardness measurements across the base metal-HAZ-weld metal regions, and fracture tests. The results demonstrate that increasing heat input enhances penetration, whereas excessive current leads to HAZ widening and mechanical softening. The findings provide practical guidance for identifying an optimum amperage range for reliable single-pass MIG welding of AA 6082 aluminum alloys.

Keywords: AA 6082, MIG Welding, Heat Input, HAZ, Microhardness

1. GİRİŞ

Hafiflik, enerji verimliliği ve yapısal dayanım gereksinimleri, modern mühendislik uygulamalarında alüminyum alaşımlarını vazgeçilmez kılmaktadır. Bu bağlamda Al-Mg-Si esaslı 6000 serisi alaşımlar, çökelme sertleşmesine dayalı ayarlanabilir mekanik özellikleri ve üretim süreçlerine uyumlu yapıları sayesinde otomotiv, havacılık ve yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-4]. Bu seri içerisinde yer alan AA 6082 alaşımı, mekanik denge ile kaynaklanabilirlik özelliklerini birlikte sunması nedeniyle öne çıkmaktadır [2,5].

Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan MIG kaynağı, yüksek üretim verimliliği ve endüstriyel uygulanabilirliği ile tercih edilmektedir [3,6]. Bununla birlikte, kaynak sırasında uygulanan akım seviyesi ve buna bağlı ısı girdisi; kaynak banyosunun kararlılığı, nüfuziyet davranışı ve katılaşma morfolojisi üzerinde belirleyici olmaktadır [7,8]. Özellikle çökelme sertleşmeli alaşımlarda aşırı ısı girdisinin, mikro yapısal kararsızlıklara ve mekanik özellik kayıplarına yol açtığı bilinmektedir [9,10]. Kaynak işlemi sırasında oluşan ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), AA 6082 alaşımı gibi sistemlerde mekanik performansı sınırlayan kritik bir bölge olarak değerlendirilmektedir. Bu bölgede çökelti çözünmesi ve tane irileşmesi sonucunda sertlik düşüşleri meydana gelmekte; bu durum yorulma ve kırılma davranışını doğrudan etkilemektedir [9-11]. Nitekim farklı MIG ve CMT kaynaklı bağlantılarda ki ITAB yumuşaması mekanik bütünlüğü zayıflatma eğilimi gösterdiği blinmektedir [2,9].

Bunun yanı sıra, alüminyum alaşımlarının kaynaklanmasında porozite oluşumu da mikro yapı sürekliliğini sınırlayan önemli bir problem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle MIG ve hibrit kaynak uygulamalarında gaz hapsine bağlı porozitelerin, kaynak parametreleriyle doğrudan ilişkili olduğu bildirilmektedir [1,12-14]. Bu tür süreksizliklerin yalnızca geometrik kusurlar oluşturmadığı; aynı zamanda kaynak sonrası uygulanan yüzey iyileştirme işlemleri, boya süreçleri ve kaynak sırasında oluşan artık gerilmelerle birlikte mikro yapının evrimini ile yorulma davranışını da etkilediği literatürde vurgulanmaktadır [15-18].

Bu çalışmada, AA 6082 alüminyum alaşımının PB pozisyonunda tek paso MIG kaynağı ile birleştirilmesinde farklı kaynak akımı değerlerinin ısı girdisine bağlı olarak nüfuziyet, mikroyapı, sertlik dağılımı ve kırılma davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar bütüncül olarak değerlendirilmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada alüminyumun AA 6082 serisi plakalara farklı amper değerlerinde MIG yöntemiyle birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kaynaklı birleştirmelerin nüfuziyetine amper parametresinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 6x100x200 mm boyutlarına sahip plakalar (Görsel 1) kullanılarak iç köşe (PB) kaynak tekniği ile tek paso kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.



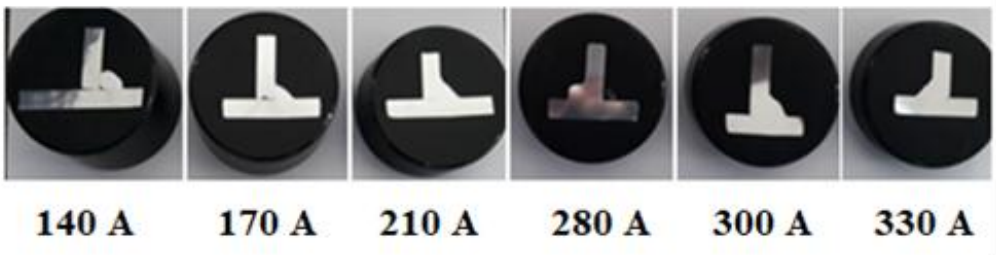
Görsel 1. Kullanılan AA 6082 serisi alüminyum malzeme

Amper parametresi olarak 140, 170, 210, 280,300 ve 330 amper değerleri seçilmiş olup ER4043 ilave tel kullanılmıştır. İlave tel çapı 1 mm olarak tercih edilmiştir. Argon gaz korumasında yapılan kaynak işlemlerinde 14 l/dk gaz debisi kullanılmış olup tüm deney numunelerinde kaynak parametrelerinin tamamı sabit tutularak sadece amper değeri değiştirilmiştir. Böylece amper parametre değişiminin nüfuziyete etkisinin net bir şekilde tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kaynak işlemlerinde ve analiz işlemlerinde kullanılan ekipmanlara Görsel 2'de yer verilmiştir.



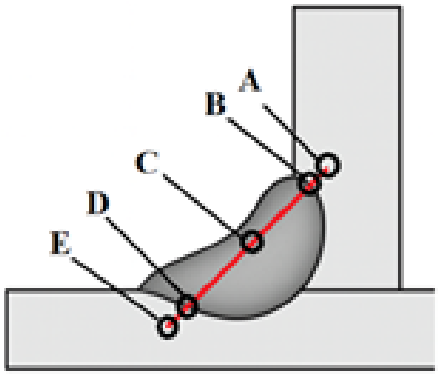
Görsel 2. Deneylerde kullanılan ekipmanlar

Elde edilen kaynaklı birleştirme numunelerinden öncelikli olarak mikro yapı incelemeleri ve sertlik değerlerinin incelenmesi için numuneler hazırlanarak bakalitleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Görsel 3).



Görsel 3. Bakalite alınan deney numuneleri

Yüzey bütünlüğünün bozulmaması ve doğru sertlik değerlerinin elde edilebilmesi amacı ile öncelikli olarak sertlik değerleri alınmıştır. Sertlik ölçümleri Mitutoya HV-112 Mikro Vickers sertlik ölçüm cihazı kullanılarak 0,1 kgf (100 g) yük altında ve 10 s bekleme süresi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Görsel 4'de belirtildiği gibi sertlik değerleri sıralı olarak ilk plakanın ana metal noktasından başlanmış olup, ITAP, kaynak metali ve ikinci plakanın ana metal noktasına ulaşacak şekilde sıralı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu sıralı ölçümler Görsel 4'de gösterildiği gibi "A, B, C, D, E" kodlaması ile tanımlanmış ve bu kodlama çalışmanın devamında kullanılmıştır.



Görsel 4. Sıralı sertlik ölçümünde kullanılan kodlama

Sertlik deneylerinin akabinde numunelerden optik mikroskop görüntüleri alınarak nüfuziyet değerleri incelenmiştir. Dağlama işlemlerinde Keller (2ml HF (%48), 3ml HCl (Konsantre), 5ml HNO3 (Konsantre), 190 ml su) kullanılmıştır. Optik mikroskop incelemelerinde sertlik analizinde olduğu gibi sıralı görüntü incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Kaynak amper değerinin nüfuziyete olan etkisinin net bir şekilde belirlenmesi amacıyla PB pozisyonunda birleştirilen kaynaklı plakalara kırma testi uygulanmıştır. Bu işlem 200 ton kapasiteli pres yardımıyla ve tam kopma gerçekleşene kadar devam ettirilmiştir.

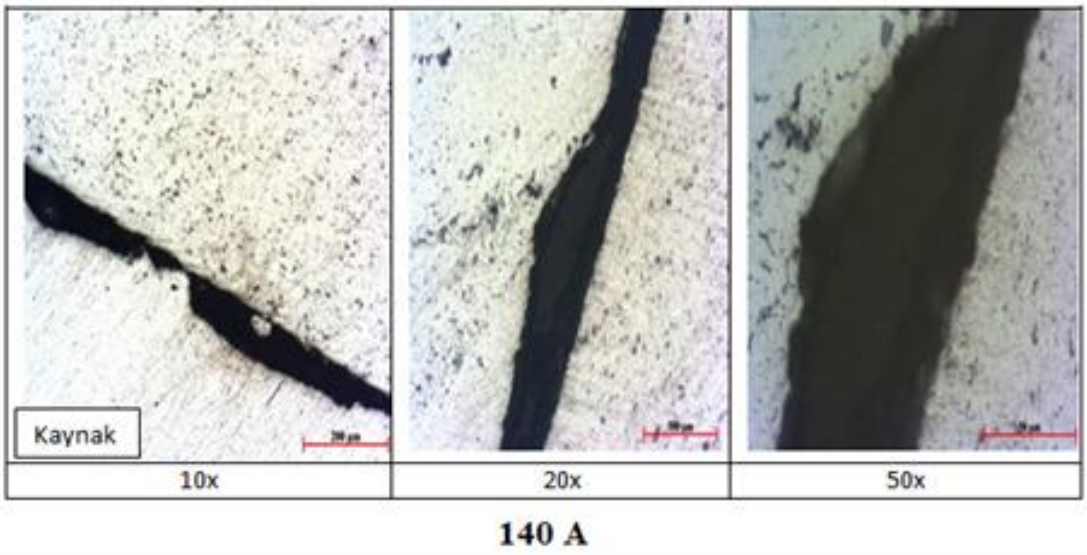
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

AA 6082 kalite alüminyumun farklı amper değerlerinde kaynaklanması ile nüfuziyet değişikliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan analiz çalışmaları aşağıda everilmiştir.

3.1.Mikro Yapı Sonuçları

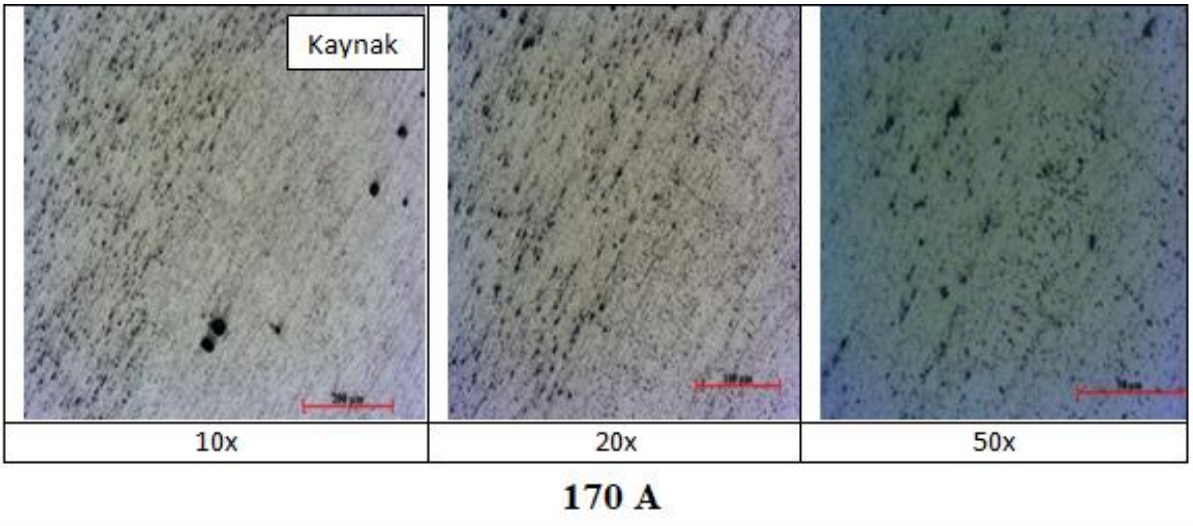
AA 6082 alüminyum alaşımının PB pozisyonunda tek paso MIG kaynağı ile birleştirilmesi sonucunda elde edilen kaynaklı numunelerin optik mikroskop görüntüleri, kaynak amperinin mikroyapı ve nüfuziyet üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Farklı amper değerlerinde gerçekleştirilen kaynak işlemleri sonucunda kaynak metali, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve ana metal bölgeleri arasında belirgin mikroyapısal farklılıklar gözlenmiştir.

Düşük akım değeri olan 140 A'da gerçekleştirilen kaynaklarda (Görsel 5), kaynak banyosunun yeterli ısı girdisine ulaşamaması nedeniyle yetersiz nüfuziyet oluştuğu, köşe birleşim bölgesinde kaynak metali ile ana metal arasında süreksizliklerin yer yer belirginleştiği görülmektedir. Bu durumda kaynak metalinin köşe bölgesine yeterince akamadığı ve ergime değerinin yetersiz kaldığı değerlendirilmektedir.

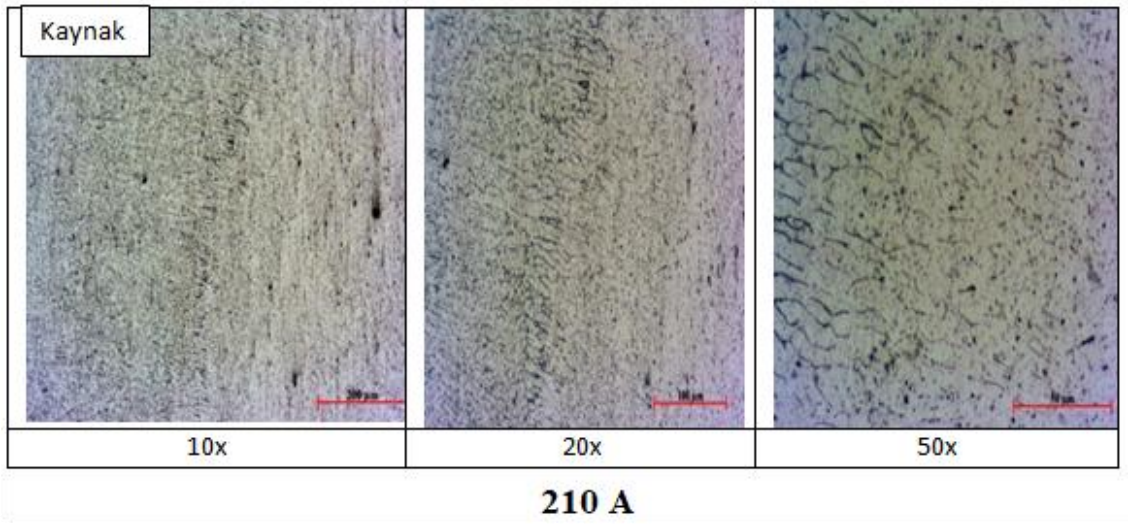


Görsel 5. 140 A ile kaynak yapılan numunenin optik mikroskop görüntüsü

170 A (Görsel 6) ve 210 A (Görsel 7) amper değerlerinde ise ısı girdisinin artmasına bağlı olarak kaynak metalinin köşe bölgesine daha iyi yayıldığı, nüfuziyetin belirgin şekilde arttığı ve kaynak metali – ana metal geçişlerinin daha homojen hale geldiği gözlemlenmiştir. Bu akım aralığında ITAB sınırlarının 140 A değerindeki kaynak bölgesine kıyasla daha düzenli olduğu ve mikro yapının süreklilik göstermeye başladığı, ancak yeterli düzeye gelmediği görülmüştür.

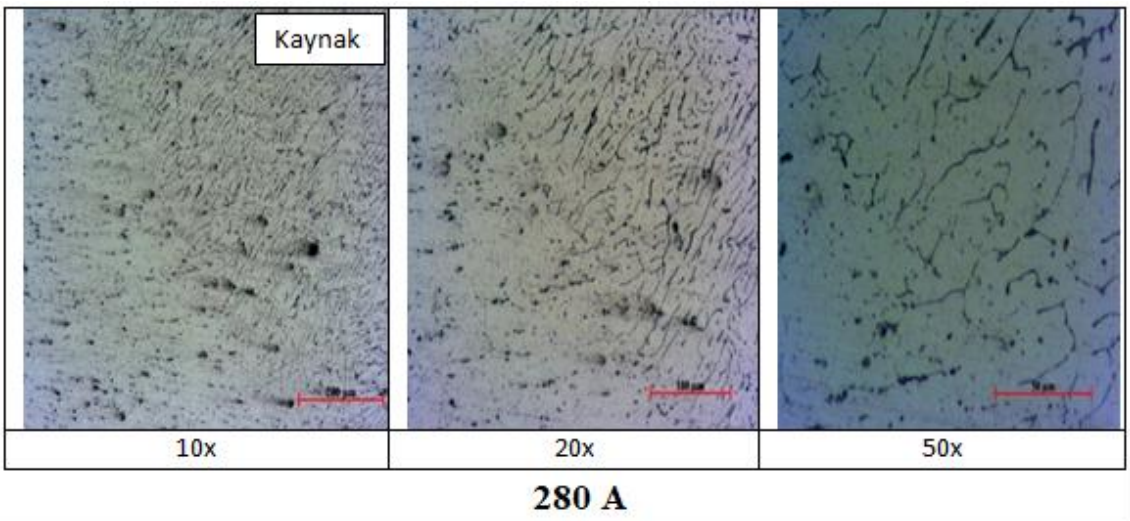


Görsel 6. 170 A ile kaynak yapılan numunenin optik mikroskop görüntüsü



Görsel 7. 210 A ile kaynak yapılan numunenin optik mikroskop görüntüsü

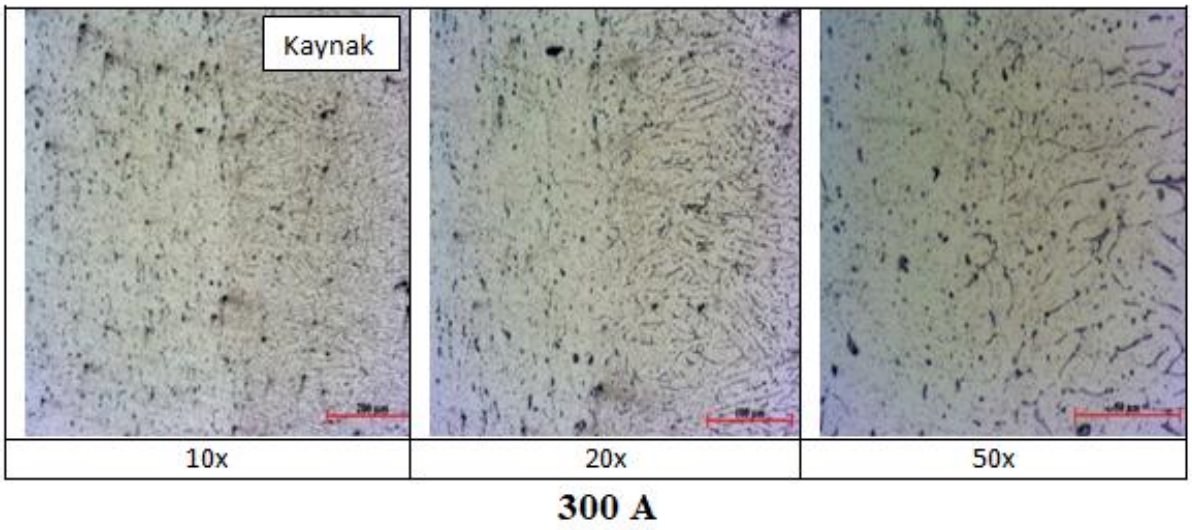
280 A (Görsel 8) akım değerinde gerçekleştirilen PB pozisyonundaki tek paso MIG kaynak uygulamalarında, artan ısı girdisinin etkisiyle kaynak metalinin köşe bölgesini büyük ölçüde doldurduğu ve nüfuziyetin yüksek seviyelere ulaştığı belirlenmiştir. Optik mikroskop görüntülerinde, kaynak metali ile ana metal arasında genel olarak süreklilik arz eden bir geçiş bölgesinin oluştuğu gözlemlenmiş olup, bağlanma açısından kabul edilebilir bir kaynak dikişi elde edilmiştir. Bununla birlikte, bazı bölgelerde ITAB sınırlarının nispeten daha belirgin hale geldiği ve mikro yapı içerisinde sınırlı da olsa heterojenlik eğilimlerinin başladığı dikkati çekmektedir. Bu durum, ısı girdisinin alt sınıra yakın olması nedeniyle ergiyik metal akışının yer yer tam dengelenememesiyle ilişkilendirilebilir. Dolayısıyla 280 A değeri, yeterli nüfuziyet sağlayan ve genel olarak kararlı bir birleştirme sunmakla birlikte, mikro yapısal homojenlik açısından ideal koşulların bir miktar altında kalabilmektedir.



Görsel 8. 280 A ile kaynak yapılan numunenin optik mikroskop görüntüsü

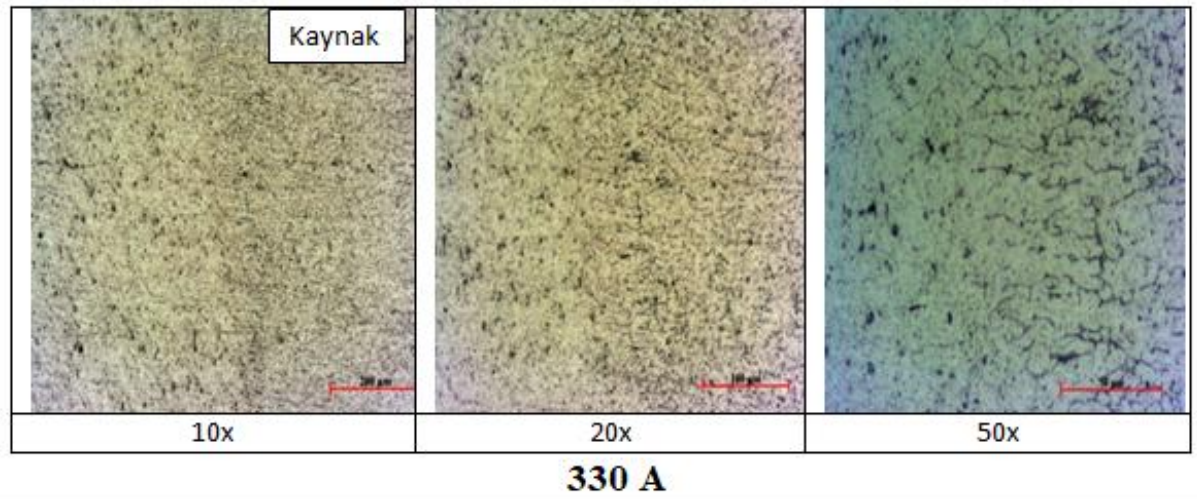
300 A (Görsel 9) akım değerinde gerçekleştirilen kaynaklarda ise ısı girdisinin optimum seviyeye ulaştığı ve bunun sonucu olarak kaynak metalinin köşe bölgesini tamamen doldurduğu belirlenmiştir. Optik görüntülerde, kaynak metali ile ana metal arasında düzgün, sürekli ve homojen bir geçiş bölgesinin oluştuğu net bir şekilde gözlemlenmiştir. ITAB sınırlarının daha

düzenli olduğu, mikro yapının süreklilik gösterdiği ve herhangi bir bağlanma problemi veya süreksizlik içermediği tespit edilmiştir. Elde edilen bu mikro yapısal özellikler, 300 A değerinde gerçekleştirilen tek paso PB kaynak uygulamalarının yüksek kararlılık sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda 300 A akım değeri, tam nüfuziyet, mikro yapısal bütünlük ve kaynak kalitesi açısından ideal kaynak parametresi olarak değerlendirilmektedir.



Görsel 9. 300 A ile kaynak yapılan numunenin optik mikroskop görüntüsü

Buna karşılık 330 A (Görsel 10) gibi yüksek amper değerlerinde, aşırı ısı girdisine bağlı olarak ITAB genişlemiş, kaynak metali bölgesinde tane irileşme eğilimi artmış ve bölgesel olarak mikroyapısal düzensizlikler gözlenmiştir. Bu durum yüksek amperin her ne kadar nüfuziyeti arttırsa da mikro yapısal kararlılığı olumsuz etkileme eğiliminde olduğunu göstermektedir.



Görsel 10. 330 A ile kaynak yapılan numunenin optik mikroskop görüntüsü

3.2.Vickers Sertlik Ölçümü Sonuçları

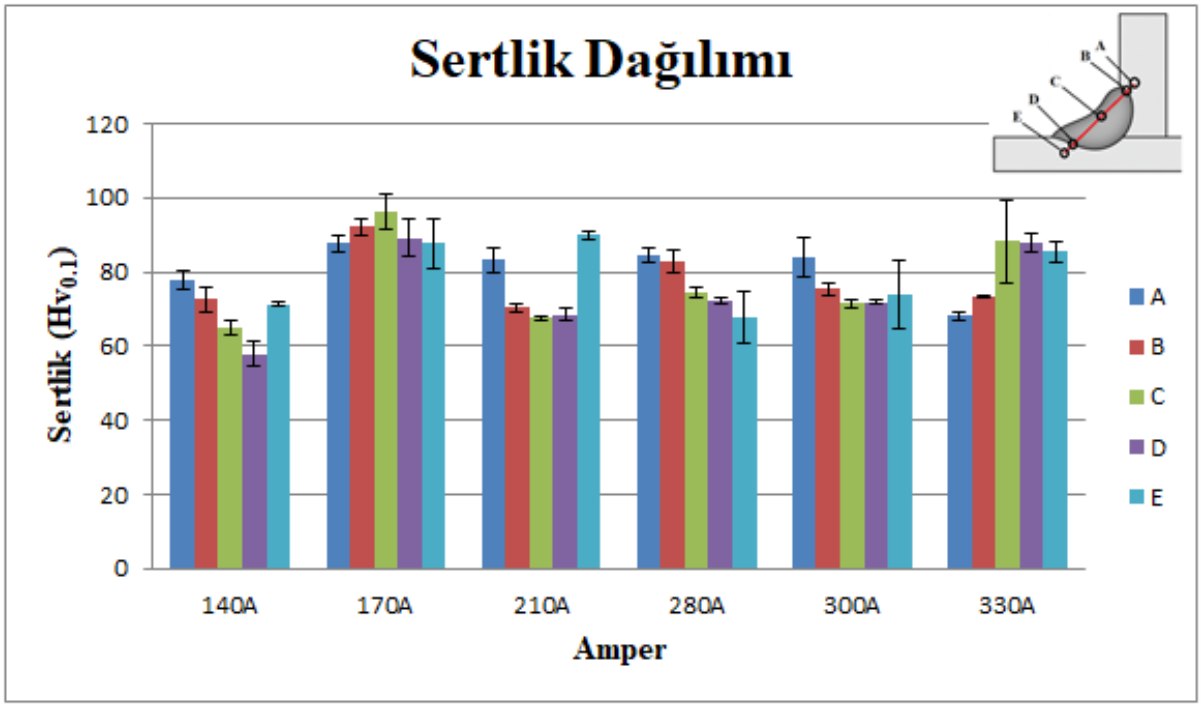
Vickers sretlik ölçümleri, Ana Metal-ITAB-Kaynak Metali-ITAB-Ana Metal (A-B-C-D-E noktaları) olmak üzere sıralı olarak gerçekleştirilmiştir (Görsel 11). Kaynak amperinin mekanik özelliklere etkisi detaylı değerlendirilmiştir.

Genel olarak tüm numunelerde, ana metal bölgesinde daha yüksek sertlik değerleri kaynak metalinde ise mispeten daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu durum ER4043 ilave telinin yüksek Si içeriğine rağmen kaynak metalinde daha homojen ve nispeten yumuşak bir yapı oluşturmasıyla ilişkilidir.

Düşük amper değerlerinde (140 A ve 170 A), ITAB bölgesinde sertlik düşüşünün daha sınırlı olduğu, ancak kaynak metalinde düzensiz sertlik dağılımlarının görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durum, yetersiz nüfuziyet ve düzensiz ergime koşullarına bağlanabilir.

Orta amper değerlerinde (210 A, 280 A, 300 A), sertlik dağılımının daha dengeli olduğu, ITAB geçişlerinin yumuşak bir sertlik gradyanı ile gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu, kaynak sırasında oluşan ısıl çevrimin daha kontrollü olduğunu ve mikro yapının daha homojen şekilde oluştuğunu göstermektedir.

En yüksek amper değeri olan 330 A'da ise ITAB bölgesinde sertlik düşüşünün daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu durum, aşırı ısı girdisine bağlı olarak çökelti çözünmesi ve tane büyümesi gibi mikro yapısal mekanizmalarla açıklanabilir.



Görsel 11. Sertlik değerleri

3.3.Kırma Test Sonucu

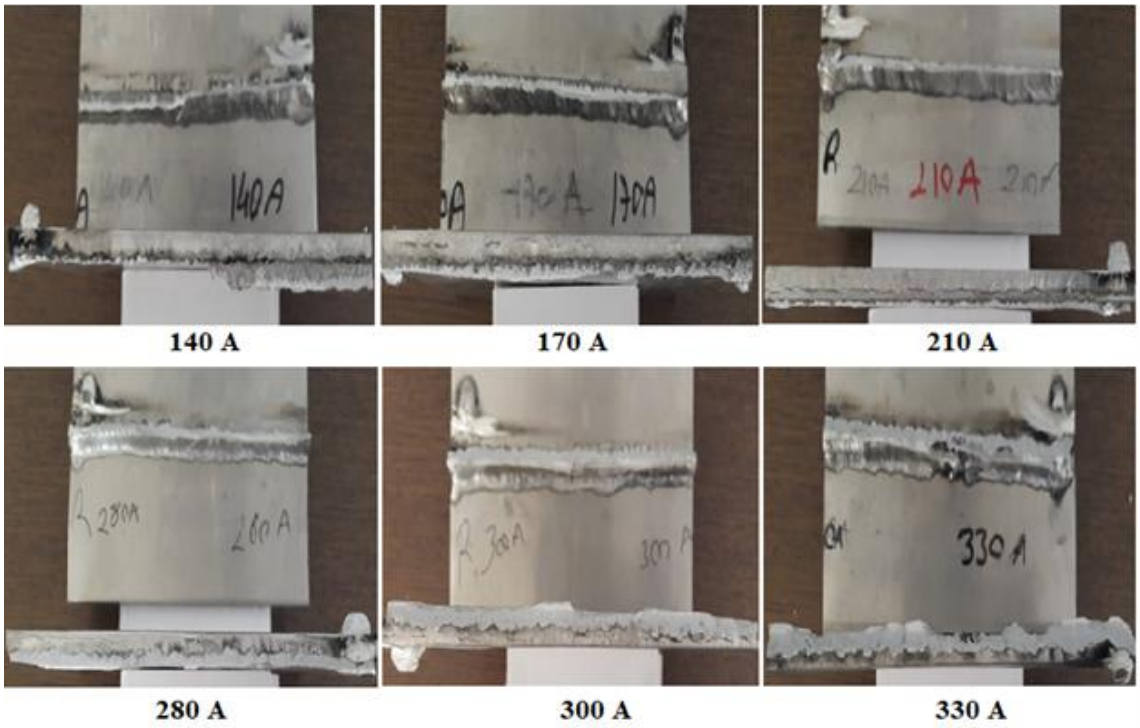
PB pozisyonunda gerçekleştirilen kaynakların kırma testleri kaynak amperinin nüfuziyet ve kaynak bütünlüğü üzerindeki etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Kırılma yüzey görüntüsü Görsel 12'de aktarılmıştır.

140 A ve 170 A ile kaynatılan numunelerde, kırılmanın büyük oranda kaynak kökü bölgesinde gerçekleştiği ve yetersiz nüfuziyetin belirgin olduğu gözlenmiştir. Bu numunelerde kırılma yüzeyleri incelendiğinde, kaynak metalinin köşe bölgesini tam olarak doldurmadığı açıkça görülmektedir.

210 A ve 280 A amper değerinde kırılmanın kırılma hattının temas yüzeyinden net bir şekilde ayrılma olarak değil de daha ziyade kopartma şeklinde ayrılmanın olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kırılma yüzeylerinin yer yer düzensiz bir morfoloji sergilediği ve özellikle ITAB sınırlarında lokal sertlik farklılıklarına bağlı olarak mikro ölçekte süreksizliklerin oluşabildiği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, her ne kadar nüfuziyetin yeterli seviyeye ulaştığını ve bağlantının mekanik olarak güçlendiğini gösterse de, ısı girdisine bağlı mikroyapısal heterojenliğin tamamen ortadan kalkmadığını ortaya koymaktadır.

300 A'da gerçekleştirilen kaynaklarda, kırılma testi sonuçları en iyi performansı ortaya koymuştur. Tam nüfuziyet sağlamış ve kırılma daha çok ana metal bölgesine yakın alanlarda meydana gelmiştir. Bu durum optimum kaynak parametresinin belirlendiğini işaret etmektedir.

330 A akım değerinde gerçekleştirilen kaynaklı numunelerin kırma testi sonuçları incelendiğinde, yüksek ısı girdisinin nüfuziyeti artırmasına rağmen kırılma davranışı açısından olumsuz etkiler oluşturduğu görülmektedir. Kırılmanın, 300 A parametresine kıyasla kırılma hattının çoğunlukla genişlemiş ITAB bölgesi boyunca ilerlediği tespit edilmiştir. Kırılma yüzeylerinde daha düzensiz bir morfoloji gözlenmiş olup, bu durum optik mikroyapı incelemelerinde belirlenen ITAB genişlemesi ve tane irileşmesi eğilimi ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Ayrıca Vickers sertlik ölçümlerinde 330 A'da ITAB bölgesinde belirgin sertlik düşüşü tespit edilmesi, bu bölgede mekanik zayıflamanın oluştuğunu ve kırılmanın bu bölgede kolaylaştığını göstermektedir. Dolayısıyla 330 A akım değeri, tam nüfuziyet sağlamakla birlikte aşırı ısı girdisine bağlı mikroyapısal kararsızlıklar nedeniyle mekanik bütünlüğü olumsuz etkileyerek optimum kaynak koşullarının dışına çıkıldığını ortaya koymaktadır.



Görsel 12. Kırılma yüzey görüntüsü

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada AA 6082 serisi alüminyum plakaların PB (İç köşe) pozisyonunda tek paso MIG kaynağı ile birleştirmesinde kaynak amperinin nüfuziyet, mikro yapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, düşük amper değerlerinde yetersiz nufüziyet ve düzensiz mekanik özelliklerin ortaya çıktığını; aşırı yüksek amper değerlerinde ise artan ısı girdisine bağlı olarak mikroyapısal kararsızlıkların oluştuğunu göstermiştir. Optik mikro yapı, sertlik ve kırılma testi sonucu birlikte değerlendirildiğinde, 280 A değerinin kabul edilebilir ve kararlı bir birleştirme davranışı sunduğu, 300 A değerinin ise tam nüfuziyet, homojen mikro yapı ve diğer amper değerlerinde elde edilenlere göre üstün mekanik performans açısından optimum kaynak koşulunu sağladığı belirlenmiştir. Bu bulgular, uygun amper seçiminin kaynaklı birleştirmelerin bütünlüğü ve performansı üzerinde belirleyici bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Gelecek çalışmalarda, belirlenen optimum amper aralığında farklı ilave tel alaşımlarının, tel çaplarının ve koruyucu gaz debilerinin kaynak dikişi performansı üzerine etkilerinin incelenmesi daha kapsamlı biçimde katkı sağlayacaktır. Ayrıca çok pasolu kaynak uygulamalarının tek paso kaynak ile karşılaştırılması endüstriyel uygulamalar açısından katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Han, X., Yang, Z., Ma, Y., Shi, C, Xin, Z., Porosity distribution and mechanical response of laser-MIG hybrid butt welded 6082-T6 aluminum alloy joint, Optics and Laser Technology, 132, 106511, 2020. https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106511
2. Arunakumara, P. C., Sagar, H. N., Gautam, B., George, R., Rajeesh, S., A review study on fatigue behavior of aluminum 6061 T-6 and 6082 T-6 alloys welded by MIG and FS welding methods. Materials Today: Proceedings, 74, 293–301, 2023. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.242
3. Singh, S., Kumar, V., Kumar, S., Kumar, A., Variant of MIG welding of similar and dissimilar metals: A review. Materials Today: Proceedings, 56, 3550–3555, 2022. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.287
4. Dursun, T., Soutis, C., Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys, Materials and Design, 56, 862–871, 2014. . http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.002
5. Moreira, P.M.G.P., Santos, T., Tavares, S.M.O., Richter-Trummer, V., Vilaça, P., de Castro, P.M.S.T., Mechanical and metallurgical characterization of friction stir welding joints of AA6061-T6 with AA6082-T6, Materials and Design,30,180–187, 2009. doi:10.1016/j.matdes.2008.04.042
6. Zhang, X., Xie, D., Chen, B., Influence of Filler Wire Feed Speed on Microstructure and Properties of MIG Welding of 7005 Aluminum Alloy, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 612, 022093, 2019. doi:10.1088/1757-899X/612/2/022093
7. Balasubramanian, V., Ravisankar, V., Madhusudhan Reddy, G., Effect of pulsed current welding on mechanical properties of high strength aluminum alloy, Int J Adv Manuf Technol, 36, 254–262, 2008. doi:10.1007/s00170-006-0848-0
8. Kumar, R., Dilthey, U., Dwivedi, D. K., Ghosh, P.K., Thin sheet welding of Al 6082 alloy by AC pulse-GMA and AC wave pulse-GMA welding, Materials and Design, 30, 306-313, 2009. doi:10.1016/j.matdes.2008.04.073
9. Yang, S., Yang, X., Lu, X., Li, M. V., Zuo, H., Wang, Y., Strength calculation and microstructure characterization of HAZ softening area in 6082-T6 aluminum alloy CMT welded joints. Materials Today Communications, 37, 107077, 2023. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107077
10. Meng, X., Yang, S., Huang, Y., Fang, Y., Gu, J., Xiong, Q., Duan, C., Microstructure characterization and mechanism of fatigue crack propagation of 6082 aluminum alloy joints, Materials Chemistry and Physics,257, 123734, 2021.
11. Costa, J. D. M., Jesus, J.S., Loureiro, A., Ferreira, J.A.M., Borrego, L.P., Fatigue life improvement of mig welded aluminium T-joints by friction stir processing, International Journal of Fatigue, 61, 244–254, 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2013.11.004
12. Ardika, R. D., Triyono, T., Muhayat, N., Triyono, A review porosity in aluminum welding. Procedia Structural Integrity, 33, 171–180, 2021. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2021.10.021

13. Kim, S. H., Kim, J. D., Jun, H. U., Cheon, J. Y., Yun, S., Kim, Y., Ji, C., A Review on Effects of Weld Porosity in Laser-Arc Hybrid Welding for Aluminum Alloys, Journal of Welding and Joining, 41, 358-366, 2023. https://doi.org/10.5781/JWJ.2023.41.5.6
14. Salvati, E., Lanzutti, A., Magnan, M., Sandnes, L., Berto, F., Grong, Ø., Microstructural observations of an AA6082-T6 Hybrid Metal Extrusion & Bonding (HYB) butt weld, Materials Today Communications, 31, 103489, 2022. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103489
15. Li, B., Gu, H., Wan, Y., Xu, A., Song, X., Effect of laser shock peening on microstructure and fatigue behavior of laser welded 7075 aluminum alloy, Theoretical and Applied Fracture Mechanics,138, 104908, 2025. https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2025.104908
16. Duan, Z., Ji, J., Duan, Y., Ma, L., Yang, A., Li, Y., Zheng, S., Su, L., Li, M., Effects of baking paint process on microstructure and mechanical properties of welded joints of 6082 aluminum alloy, Journal of Materials Research and Technology, 37, 3000-3012, 2025. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.07.006
17. Raftar, H.R., Khodabakhshi, A., Havia, J., Ahola, A., Skriko, T., Experimental and numerical study of welding-induced deformation and residual stress in 6082 aluminum: Model validation and process design guidance, Materials & Design, 255, 114193, 2025. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.114193
18. Zhao, N., Ma, H., Sun, Q., Hu, Z., Yan, Y., Chen, T., Hua, L., Microstructural evolutions and mechanical properties of 6082 aluminum alloy part produced by a solution-forging integrated process, Journal of Materials Processing Tech, 308, 117715. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117715

BİR KONUT POLİTİKASI ÖNERİSİ OLARAK YATAY MİMARİ: KARABÜK ÖRNEĞİ[1]

Prof. Dr. Hatice Selma ÇELİKYAY
Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
scelikyay@bartin.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-7482-9901

Doç. Dr. Beyza ONUR
Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
beyzaonur@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8246-9571

Dr. Öğr. Üyesi Fuat FİDAN
Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
ffidan@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6603-3591

Arş. Gör. Dr. Ayşe Merve SARAÇOĞLU GEZER
Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
mervesaracoglu@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6326-5151

Arş. Gör. Dr. Ece KAYA
Karabük Üniversitesi, İktisadi ve idari Bilimler Fakültesi
eceaksoy@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-3287-6958

ÖZET

Kent dokusunun insan ölçeğinde biçimlendirilmesini esas alan ve doğal çevreyle bütünleşik bir yapılaşma modeli sunan yatay mimari yaklaşımı, yaşam kalitesini artıran, insan ekolojisiyle uyumlu ve sosyal etkileşimi teşvik eden bir kentsel planlama anlayışı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, günümüz kentlerinde yaygınlaşan rant odaklı ve denetimsiz büyüme pratiklerine karşı bir alternatif olarak yatay mimari temelli konut politikasını ele almakta; söz konusu yaklaşımın kentsel mekân ve toplumsal yaşam üzerindeki etkilerini Karabük ili örneği üzerinden irdelemektedir. Çalışmada, Türkiye ve Karabük ilinin yatay mimari potansiyeli TÜİK verileri üzerinden incelenmiştir. Buna ek olarak, araştırma kapsamında erken Cumhuriyet dönemi mimari anlayışının nitelikli bir temsilcisi olan Yenişehir yerleşimi ile 1970'li yıllarda oluşturulan 5000 Evler yerleşim alanı analiz edilmiştir. Bu iki bölge üzerinde

[1] Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Kamu Politikaları Araştırma ve Geliştirme Merkezi Koordinatörlüğü (KAPGEM) bünyesinde oluşturulan *"Kentleşme Politikaları Masası"* raporundan üretilmiştir. Karabük Üniversitesi rektörü ve KAPGEM koordinatörü Prof. Dr. Fatih KIRIŞIK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

gerçekleştirilen mekânsal analizler sonucunda, yatay mimari anlayışının kentsel doku bütünlüğünü güçlendirdiği, çevresel uyumu desteklediği ve sosyal yaşam üzerinde olumlu etkiler ürettiği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, yatay mimari temelli konut politikalarının güncel kentsel koşullar çerçevesinde yeniden ele alınması ve yerel yönetimler tarafından uygulanabilir planlama ve tasarım stratejilerinin geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel planlama, kentsel tasarım, yatay mimari, Karabük

1. GİRİŞ

Literatürde 21. yüzyıl, kentleşme olgusunun tarihte benzeri görülmemiş bir hız ve kapsamda gerçekleşmesi nedeniyle sıklıkla "kentsel çağ" kavramı ile tanımlanmaktadır (Gürboğa, 2024). Bu tanımlamayı destekleyen nicel göstergeler, Dünya Bankası verilerine göre 2022 yılı itibarıyla dünya nüfusunun %56,8'inin kentsel alanlarda yaşadığını ve yaklaşık 4,54 milyar insanın kentlerde ikamet ettiğini ortaya koymaktadır (Dünya Bankası, 2024). Küresel ölçekte yapılan projeksiyonlar, 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun yaklaşık üçte ikisinin kentlerde yaşayacağını öngörmekte; bu durum, yaklaşık altı bin yıllık kentleşme tarihinin en yoğun dönemine girildiğini göstermektedir. Söz konusu eğilim, yüzyılın sonuna doğru insanlığın büyük ölçüde kentlerde yaşayan bir topluluk hâline dönüşeceğine işaret etmektedir (Wilson, 2024).

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, 2002–2022 yılları arasında kentsel nüfusun 44,2 milyondan 65,4 milyona yükseldiği görülmektedir. Aynı zaman diliminde kentsel nüfus oranı %66 seviyesinden 2023 yılı itibarıyla %77'ye ulaşmıştır. TÜİK verilerine göre 2023 yılında il ve ilçe merkezlerinde yaşayan nüfus 80 milyon 7 bin 258 kişi olarak kaydedilmiştir (TÜİK, 2025a). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nin 2024 yılı sonuçları ise nüfusun %93,4'ünün il ve ilçe merkezlerinde ikamet ettiğini göstermektedir. Bu veriler, Türkiye'nin demografik yapısının belirgin biçimde kentleşme ekseninde şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bir milyonun üzerindeki kentsel alanlarda yaşayan nüfusun oranının %29,6'dan %38,1'e yükselmesi, kentleşme sürecinin yalnızca sayısal artışla sınırlı kalmadığını; mekânsal olarak da büyük ölçekli kent merkezlerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu bağlamda, Türkiye'de kentleşmenin giderek metropoller etrafında biçimlendiği ve nüfusun büyük kentlerde daha yoğun bir şekilde toplandığı söylenebilir. 2050 yılına ilişkin öngörüler, Türkiye'de nüfusun yaklaşık %95'inin kentsel alanlarda yaşayacağını ortaya koymaktadır (ÇŞİDB, 2024). Bu doğrultuda, kentleşme dinamikleri ve kentsel yönetim yaklaşımları, kamu politikalarının geliştirilmesi ve uzun vadeli planlama süreçlerinde öncelikli araştırma ve uygulama alanları arasında değerlendirilmelidir.

Günümüzde büyük kentlerde yaşam alanları giderek küçülmekte ve belirli merkezlerde yoğunlaşma eğilimi göstermektedir. İstihdam olanakları ile sosyal ve kültürel etkinliklerin odaklandığı sınırlı kentsel bölgeler, artan talep nedeniyle daha yüksek bir nüfus yoğunluğuna maruz kalmaktadır. Kısıtlı alanlarda mümkün olan en fazla sayıda bireyin barındırılması,

kentsel yoğunlaşmayı kaçınılmaz hale getirmekte; bu durum yapılı çevrenin baskınlığını artırarak kent silüetinin olumsuz yönde değişmesine neden olmaktadır. Artan yapılaşma karşısında kentsel yeşil alanların giderek azalması, ekolojik dengeyi tehdit eden önemli bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, yapıların dikey yönde çoğalması güneşlenme, doğal havalandırma ve rüzgârdan yararlanma gibi çevresel faktörlerin etkin kullanımını sınırlamaktadır. Doğal çevreyle ilişkisi zayıflayan ve toprakla bağını koparan bireylerin yaşadığı kentsel ortamlar, toplumsal yalnızlaşmayı derinleştirmekte; komşuluk ilişkilerinin zayıflamasına yol açmaktadır. Bu bağlamda, nüfusun ve çalışma alanlarının kentsel mekân içinde daha dengeli bir biçimde dağıtılması büyük önem taşımaktadır. Böyle bir yaklaşım, aynı zamanda ulaşım kaynaklı sorunların azaltılmasına da katkı sağlayabilir. 2050 yılına ilişkin öngörüler, Türkiye'de nüfusun yaklaşık %95'inin kentsel alanlarda yaşayacağını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, kentleşme dinamikleri ve kentsel yönetim süreçleri, politika üretimi ve uzun vadeli planlama çalışmalarında öncelikli başlıklar arasında değerlendirilmelidir.

Yatay mimari; az katlı yapılaşmayı esas alan ve her ailenin sağlıklı, nitelikli bir yaşam alanına sahip olmasını hedefleyen bir planlama yaklaşımıdır. Bu anlayış yalnızca bir konut üretim modeli değil, aynı zamanda sosyal, mekânsal ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir yaşam biçimi sunmaktadır. Yatay mimari çerçevesinde, bireylerin ihtiyaçlarına duyarlı ve esnek mekânsal düzenlemeler yapmak, mahalle ölçeğinde sosyal ilişkileri yeniden canlandırmak ve komşuluk bağlarının güçlenmesi yoluyla toplumsal dayanışma kültürünü desteklemek daha olanaklı hale gelmektedir. Bu bağlamda çalışmanın izleyen bölümünde, bir yapılı çevre üretim politikası olarak yatay mimari anlayışı önce kavramsal açılımıyla ele alınacak, daha sonra yatay mimariye ilişkin planlama stratejileri Karabük ili özelinde analiz edilecektir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Türkiye'de kültürel miras niteliği taşıyan kentlerin yeterli düzeyde korunamadığı yönündeki değerlendirmeler, uzun süredir kamusal ve akademik tartışmalarda dile getirilmektedir. Özellikle İstanbul örneğinde görüldüğü üzere, birçok kent geçmişte sahip olduğu özgün mekânsal karakterini ve kolektif bellekte yer eden kentsel siluetini büyük ölçüde yitirmiştir. Kentlerde yaşanan bu dönüşümün olumsuz sonuçları, merkezi yönetim tarafından da kabul edilmiş; bu doğrultuda yeni bir şehirleşme anlayışının geliştirildiği ifade edilmiştir. Söz konusu yaklaşım, "yatay mimari" kavramı çerçevesinde tanımlanmaktadır. Ancak bu kavram, her ne kadar mimar Turgut Cansever'in savunduğu "yatay şehircilik" yaklaşımıyla benzer çağrışımlar taşısa da, kuramsal arka planı ve uygulama biçimi açısından ondan ayrışmaktadır. Cansever'in yaklaşımında yatay şehircilik; her ailenin toprağa yakın, 1–2 katlı müstakil konutlarda ve kendine ait bir yaşam alanı içerisinde hayatını sürdürmesini esas alan bir kentsel düzen önerisi olarak ele alınmaktadır.

Bu anlayış, yalnızca mekânsal bir yerleşim modeli değil, aynı zamanda belirli bir yaşam kültürünün ve toplumsal düzenin yansıması olarak kurgulanmıştır. Yatay mimari; genellikle bir parsel üzerinde tek bir hanenin ikamet ettiği, kentsel ölçekte daha geniş alanlara yayılan ve çoğunlukla bir ya da iki katlı, bahçeli konutlardan oluşan bir yerleşim düzeni olarak tanımlanabilir (Düzenli, 2016). Her ne kadar yatay mimari kavramı Türkiye'de son yıllarda

daha görünür hâle gelmiş olsa da, kentlerin nasıl biçimlendirilmesi gerektiğine ilişkin tartışmalar tarihsel olarak oldukça köklüdür. Özellikle 19. ve 20. yüzyılın şehir plancıları, hızlı nüfus artışıyla ortaya çıkan sağlıksız ve düzensiz kentleşme koşullarına çözüm ararken, "ideal kentin nasıl inşa edilmesi gerektiği" sorusu etrafında farklı yaklaşımlar geliştirmiştir. Bu süreçte öne çıkan temel tartışma başlıklarından biri, kentlerin dikey yapılaşma mı yoksa yatay yerleşim modeli üzerinden mi şekillendirilmesi gerektiği olmuştur.

Modern mimarlığın öncü isimlerinden Le Corbusier, kentsel projelerinde ağırlıklı olarak yüksek yapıları tercih etmiş ve mevcut kent dokularının yeterli yoğunluğa sahip olmadığını ileri sürmüştür. Le Corbusier'e göre, eski yapı stokunun ortadan kaldırılarak, park alanları ve geniş ulaşım aksları arasında konumlanan, cam ve çelikten oluşan, geometrik düzende yerleştirilmiş yüksek yapıların inşa edilmesi gerekmektedir (Corbusier, 1999). Bu yaklaşımda dikey yapılaşma, hem arazi kullanımını daha verimli hâle getirmekte hem de birim alana düşen nüfusun sağlıklı biçimde artırılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca konut ve çalışma alanları arasındaki mesafelerin kısalmasıyla ulaşım sürelerinin azalacağı, buna karşılık kent içinde daha fazla yeşil alan üretilebileceği savunulmaktadır.

Le Corbusier'in bu yoğunluk odaklı yaklaşımına karşılık olarak, Howard, Wright ve Bauer gibi düşünürler kentlerin yatay düzlemde gelişmesini savunmuşlardır. 19. yüzyıl şehir plancılarından Ebenezer Howard, "Yarının Bahçe Şehirleri" başlıklı çalışmasında, iki katlı konutların geniş caddeler aracılığıyla birbirine bağlandığı bir yerleşim modeli önermiş ve bu çerçevede yatay yapılaşmayı idealize etmiştir (Howard, 2019). "Bahçe Şehir" yaklaşımıyla amaçlanan, kentsel yaşamın sunduğu olanakların kırsal çevrenin sağlıklı ve doğal koşullarıyla bütünleştirilmesidir. Howard'a göre, bireylerin geçmişte kendi istekleriyle kırsal alanlardan kentlere yönelmesi gibi, plansız, sağlıksız ve aşırı yoğun kent ortamlarından da yine gönüllü biçimde uzaklaşmaları mümkündür (Fishman, 2016). Organik mimarlık anlayışının kurucu figürlerinden Frank Lloyd Wright ise yüksek yapılaşmaya eleştirel yaklaşarak, farklı ihtiyaç ve beklentilere sahip bireylerin tek tip mekânlarda bir arada yaşamaya zorlanmasının sorunlu olduğunu savunmuştur. Wright'a göre, insanların yaşam biçimleri, tercihleri ve sorunları birbirinden farklı olduğundan, konut üretiminde bireysel gereksinimlerin esas alınması gerekmektedir. Bu nedenle onun ideal kent tasavvuru, geniş alanlara yayılan ve doğal çevreyle uyumlu biçimde inşa edilmiş müstakil konutlara dayanmaktadır. Wright, her bireyin en az dört dönümlük bir araziye sahip olduğu ve yarı zamanlı tarımsal faaliyetlerde bulunduğu bir yerleşim modeli geliştirmiştir (Fishman, 2016). Türkiye'de yatay mimarlık anlayışının önemli temsilcilerinden biri olarak kabul edilen Turgut Cansever de Wright'ın bu yaklaşımını desteklemiştir. Cansever'in şehircilik anlayışında, kentsel düzenlemelerin halkın iradesi ve kültürel birikimi yok sayılarak değil, bireylerin bilgi ve deneyimlerine dayalı olarak şekillenmesi temel bir ilke olarak benimsenmektedir.

Bu çalışma, Cansever'in "ufki mimari" olarak tanımladığı yatay yapılaşma anlayışının, yatay şehirleşme fikrinin ideal tiplerinden birini temsil ettiği varsayımından hareket etmektedir. Bununla birlikte, yalnızca kat sayısını sınırlayan; buna karşın yapıların arsa üzerindeki kaplama oranını artıran uygulamaların, yatay mimariye atfedilen sosyal, çevresel ve mekânsal kazanımları bütünüyle sağlayamayacağı ileri sürülmektedir. Cansever (2014), bu yaklaşımı

“ufkî yoğun yerleşme” olarak adlandırmış ve bu modelin sürdürülebilir, yaşanabilir, ekolojik, ekonomik ve toplumsal açıdan katılımcı bir yaşam çevresi sunduğunu ileri sürmüştür (Düzenli, 2016). Ona göre ufkî yerleşim, yalnızca bir kent planlama modeli değil; aynı zamanda bir yaşam biçimi ve dünya görüşüdür. Bu anlayışla insanların çevresine duyarlı hale gelebileceği, mimari değerlere sahip çıkabileceği ve edilgen seyirciler olmaktan kurtulabileceği savunulmaktadır (Cansever, 2016). Cansever (2014), otuz katlı bir binaya bir aileyi yerleştirmenin, ona nerede yaşayacağını dayatmak anlamına geldiğini ve bu durumun bireyin çevresini algılayıp değerlendirme hakkını elinden aldığını düşünmektedir. Yüksek katlı yapılarda yaşamak, insanların hem birbirleriyle hem de doğayla olan bağlarını zayıflatır. Komşuluk ilişkileri, bu tür yapılarda yüzeysel ve teknokratik müdahalelerle şekillenen sığ ilişkilere dönüşür. Cansever ayrıca, yüksek beton bloklar arasında büyüyen çocukların doğayla ilişkilerini kaybettiğini, yaşlıların ise hayatlarının son dönemlerini estetik güzelliklerden mahrum geçirdiklerini dile getirmiştir (Ayvazoğlu, 2019). Bu nedenle ufkî yerleşim modelinin, komşuluk bağlarını güçlendireceği, dayanışma ve yardımlaşmayı teşvik edeceği, insanı dev beton yapılar arasında silinip gitmekten kurtaracağı düşünülmektedir.

Cansever, zorunlu durumlarda dahi yüksek katlı bina fikrine karşı çıkmıştır. Örneğin, kentlerin sınırlı araziye sahip olması nedeniyle yapıların dikeyde yükselmesi gerektiğini savunan İtalyan mimar Paolo Soleri'nin geliştirdiği ve 100 katlı binaları içeren “tutumlu kent” projesini sert bir dille eleştirmiştir. Cansever’e göre, nüfus sorununa çözüm üretmek adına insanları üst üste yığmak, insanı teknolojiye kurban etmektir (Ayvazoğlu, 2019). Cansever’e göre bir şehrin yalnızca ekonomik olması yeterli değildir; aynı zamanda estetik açıdan güzel olması ve içinde yaşayan bireylerin düşüncelerini, ihtiyaçlarını yansıtması da gerekir. Ancak yüksek katlı apartmanlar bu anlamda büyük bir engel barındırır. Çünkü bu yapılarda yaşayanlar, evlerinin biçimini değiştirmek isteseler bile buna imkân yoktur; yalnızca mobilyalarını değiştirebilirler ve çoğu zaman bununla yetinmek zorunda kaldıklarının farkında bile değildirler (Cansever, 2014). Cansever’e göre, eğer yatay yoğunlukta şehirler kurulmuş olsaydı, dikey yapılarda kullanılan asansörlerin hem sağlıksız havası solunmaz hem bu sistemleri çalıştırmak için harcanan enerji tasarruf edilir, hem de insanlar işe yürüyerek gidip egzoz dumanına maruz kalmadıkları için sağlık giderleri azalırdı (Ayvazoğlu, 2019). Bu nedenle Cansever’e göre dikey yapılaşma, insanları sağlıklı kalabilmek için spor salonlarına ve hastanelere gitmeye mecbur bırakan, yaşanması gereken güzelliklere ayrılacak zamanı çalan ve yaşam maliyetini artıran bir sistemdir. Bu koşullar altındaki bir kente “tutumlu” demek anlamını yitirir. Ona göre tutumlu şehir; içerisinde sosyal hayatın gereksinimlerini karşılayan tüm olanakları barındıran, katılımcı, sürdürülebilir ve adil bir yerleşim alanıdır. Dolayısıyla Cansever’in şehir vizyonunda mesele, yapıların yüksekliği değil, tıpkı Osmanlı mahallelerinde olduğu gibi bireylerin ihtiyaçlarını kendi çevresinden karşılayabildiği, entegre bir yaşam alanı oluşturmaktır.

2.1 Yatay Mimariyi Destekleyen Argümanlar

Toprakla Temasın Artması:

Yatay yapılaşmayı destekleyen temel gerekçelerden biri, bireylerin toprakla doğrudan ilişki kurabilme olanağının artmasıdır. Balkon gibi sınırlı açık alanlar yerine, bahçe ile bütünleşen bir yaşam biçimi, özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde banliyö yerleşimlerinin yaygınlaşmasında etkili olmuştur (Ayvazoğlu, 2019; Cansever, 2014). Bununla birlikte, bu avantaj her yatay yapılaşma örneğinde kendiliğinden ortaya çıkmamaktadır. Yetersiz planlama koşullarında, küçük parseller üzerinde inşa edilen tek katlı yapılar, kimi zaman açık alanların betonlaşmasına neden olmakta ve toprakla temas olanağını ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla, yapıların yalnızca düşük katlı olması, tek başına bahçe kültürünün geliştiği ya da doğayla bütünleşik bir yaşam biçiminin sunulduğu anlamına gelmemektedir.

Daha Sakin ve Huzurlu Bir Yaşam Ortamı:

Dikey mimarinin bireylerde yalnızlık ve mekânsal yabancılaşma duygusunu artırdığı yönündeki değerlendirmeler literatürde yaygın biçimde dile getirilmektedir. Buna karşılık, yatay mimaride doğayla kurulan doğrudan ilişkinin, bireylerin daha dingin ve huzurlu bir yaşam sürmelerine katkı sağlayabileceği öne sürülmektedir (Ökten, 2019). Ancak bu görüş, yatay yapılaşmanın sosyal izolasyonu kendiliğinden ortadan kaldıracağı varsayımına dayanmaktadır. Oysa yalnızlaşma olgusu, yalnızca mekânsal düzenlemelerle açıklanamayacak kadar karmaşık bir yapıya sahiptir. Modern yaşamın teşvik ettiği bireycilik, pragmatik ilişkiler ve artan duygusal mesafe, bu sürecin belirleyici unsurları arasında yer almaktadır. Nitekim Simmel'in 20. yüzyıl başlarında Berlin üzerine yaptığı gözlemler, metropol yaşamının bireylerde akılcı ve mesafeli bir tutum geliştirdiğini ortaya koymaktadır (Simmel, 1970). Bu bağlamda, sorun yalnızca mimari ölçekle sınırlı olmayıp kültürel ve toplumsal boyutları da içermektedir.

Komşuluk İlişkilerinin Güçlenmesi:

Yatay yerleşim modellerinin savunulmasında öne çıkan en güçlü argümanlardan biri, komşuluk ilişkilerinin gelişmesine uygun bir zemin sunmasıdır. Az sayıda haneden oluşan yerleşim düzenleri, bireylerin birbirlerini tanımalarını kolaylaştırarak mahalle kültürünün yeniden canlanmasına katkı sağlayabilir (Düzenli, 2016). Bununla birlikte, kent yaşamının sunduğu bireysel özgürlük alanları ve artan mahremiyet talepleri, apartman yaşamını bazı kesimler için daha cazip kılmaktadır. Özellikle Batı toplumlarında müstakil konut tercihi, çoğu zaman komşuluk ilişkilerini güçlendirme arzusundan ziyade, aşırı sosyal etkileşimden kaçınma isteğiyle ilişkilendirilmektedir. Cansever ise bu yaklaşımdan farklı olarak, İslam kent geleneğinde önemli bir yer tutan yardımlaşma, dayanışma ve komşuluk değerlerinin yeniden canlandırılması gerektiğini savunmuş; yatay mimariyi bu değerlerin mekânsal taşıyıcısı olarak değerlendirmiştir. Nitekim geleneksel konut dokusunu koruyan tarihî kentlerde, mahalle kültürünün bu nitelikleri hâlen gözlemlenebilmektedir.

Deprem Etkisini Azaltma Potansiyeli:

Yatay mimarinin savunulduğu bir diğer önemli alan, doğal afetlere karşı sunduğu görece güvenlik avantajıdır. Yüksek yapıların deprem güvenliğinin sağlanması, ileri mühendislik çözümleri ve yüksek maliyetler gerektirmektedir. Buna karşılık, uygun malzeme ve tasarım ilkeleriyle inşa edilen az katlı yapılar, sismik hareketlere karşı daha düşük risk taşıyabilmektedir

(Ayvazoğlu, 2019; Cansever, 2014). Düşük yükseklikleri ve daha dengeli ağırlık dağılımları sayesinde yatay yapılar, deprem anında görece daha dayanıklı bir performans sergileyebilmektedir. Bu yönüyle yatay yapılaşma, çökme ve ağır hasar riskini azaltan bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Birey ve İhtiyaç Odaklı Tasarım:

Yatay mimarinin önemli avantajlarından biri, konutların kullanıcıların bireysel ihtiyaçlarına göre tasarlanabilmesine olanak tanımasıdır. Kişiye özel mekânsal çözümler sunabilen bu yaklaşım, kullanıcıların yaşam alışkanlıklarına daha uygun konut tiplerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Ayvazoğlu, 2019; Cansever, 2010; Düzenli, 2016). Ancak bu avantajın gerçek anlamda ortaya çıkabilmesi, tek tip site anlayışından uzaklaşılarak, özgün ve karakter sahibi yapıların üretilmesine bağlıdır. Cansever'in de vurguladığı üzere, mevcut imar düzenlemeleri çoğu zaman benzer biçimde konumlandırılmış konutlar üretmekte; bu durum hem manzara hem de mahremiyet açısından sorunlar doğurmaktadır (Cansever, 2010). Ayrıca, müstakil konutların kent içinde erişilebilirliğinin sınırlı olması ve yüksek maliyet gerektirmesi, yatay mimarinin uygulanabilirliğini zorlaştıran etkenler arasında yer almaktadır. Cansever, Osmanlı dönemindeki vakıf sistemi üzerinden elde edilen rantların kente yeniden kazandırılmasını önererek, kentlerin rant odaklı değil insan merkezli bir anlayışla planlanması gerektiğini savunmuştur (Can ve Doğan, 2019).

Mahremiyet:

Bahçeli ve müstakil konutlar, çok katlı yapılara kıyasla genellikle daha yüksek düzeyde mahremiyet sunmaktadır (Ayvazoğlu, 2019; Can ve Doğan, 2019; Cansever, 2010; Düzenli, 2016). Ancak bu durum, yalnızca yeterli büyüklükte parseller üzerinde inşa edilen konutlar için geçerlidir. Türkiye'de yaygın olan site tipi yerleşimlerde, ikiz ya da bağımsız konutlar çoğu zaman birbirine oldukça yakın konumlandırılmakta ve kişisel alanlar sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla, mahremiyet avantajı daha çok geniş alanlarda yer alan müstakil konutlar için söz konusu olmakta; bu tür yapılara erişim ise genellikle üst gelir gruplarıyla sınırlı kalmaktadır.

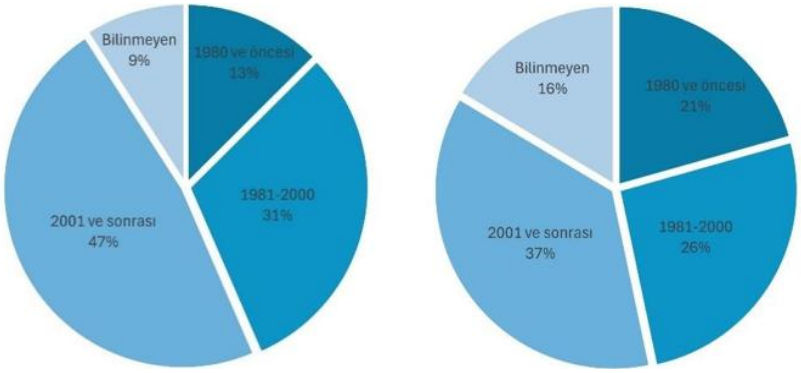
Doğal Işık ve Havalandırma Olanakları:

Yüksek katlı yapıların oluşturduğu gölgelenme etkisi, doğal ışık alımını ve hava dolaşımını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Ayvazoğlu, 2019). Özellikle alt katlarda oluşan karanlık ve havasız mekânlar, yaşam kalitesini düşüren unsurlar arasında yer almaktadır. Buna karşılık yatay yapılaşma, yapıların konumlanışına bağlı olarak daha dengeli bir ışık dağılımı ve etkili havalandırma olanakları sunabilmektedir. Yapıların yatayda genişlemesi, mimarlara doğal aydınlatmadan daha etkin yararlanma, çatı bahçeleri, iç avlular ve ortak yeşil alanlar oluşturma gibi tasarım olanakları sağlamaktadır.

3.TÜRKİYE'DE VE KARABÜK'TE KONUT YAPILANMASINA İLİŞKİN MEVCUT DURUM

2021 yılı verilerine göre Türkiye'de toplam 25.329.833 hane halkı bulunmaktadır (TUİK, 2021a). Bu hanelerin 3.179.805'i (%12,5) 1980 ve öncesinde inşa edilen binalarda, 7.834.588'i (%30,9) 1981–2000 yılları arasında inşa edilen binalarda, 12.007.355'i (%47,4) ise 2001 ve

sonrasında inşa edilen binalarda ikamet etmektedir (TÜİK, 2021a). 2.308.085 hane (%9,1) için binanın inşa yılı bilinmemektedir (TUİK, 2021c). Ülke genelindeki toplam hane halkının %33,57'si (85.036 hane) Karabük ilinde bulunmaktadır. Bu hanelerin %20,6'sı (17.551 hane) 1980 ve öncesinde inşa edilen binalarda, %26,0'ı (22.150 hane) 1981 ile 2000 yılları arasında inşa edilen binalarda, %36,9'u (31.341 hane) ise 2001 ve sonrasında inşa edilen binalarda ikamet etmektedir (TÜİK, 2021b). Ayrıca %16,4'lük kesimi oluşturan 13.994 haneye ait binaların inşa yılı bilinmemektedir (Görsel 1). Veriler, Karabük'teki hane halklarının büyük bölümünün 2001 yılı ve sonrasında inşa edilmiş yapılarda yaşadığını ancak önemli bir kısmının daha eski binalarda ikamet etmeye devam ettiğini göstermektedir. Bu bulgu, kentte yapı stokunun kısmen yenilendiğini ancak eski binaların toplam stok içinde hâlen kayda değer bir paya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



(a) Türkiye geneline ilişkin oranlar (b) Karabük geneline ilişkin oranlar

Görsel 1. 2021 yılı verilerine göre Türkiye'de ve Karabük'te binanın inşa yılına göre hane halkı sayısı oranının karşılaştırılması (TUİK, 2021a; TUİK, 2021b.TÜİK, 2021c).

2021 yılı itibarıyla Türkiye genelinde hane halklarının %47,4'ü 2001 ve sonrasında inşa edilen binalarda yaşamaktadır. Bu oran Karabük'te %36,9'dur. Bu fark, Karabük'te yenilenmiş yapı stoku oranının Türkiye ortalamasının altında olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Türkiye genelinde 1980 ve öncesine ait yapılarda oturanların oranı %12,5 iken Karabük'te bu oran %20,6'dır. Başka bir ifadeyle Karabük'te her beş haneden biri, 1980 ve öncesinde inşa edilmiş yapılarda yaşamaktadır. Bu veriler, Karabük'te daha eski binalarda ikamet etme oranının Türkiye ortalamasına göre daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu eğilim, kentsel yapı stokunun yaşlanmakta olduğu ve özellikle eski yapıların fiziksel dayanıklılığı, enerji verimliliği ve afet riski açısından yeniden değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Ayrıca, Türkiye genelinde inşa yılı bilinmeyen konutların oranı %9,1 iken Karabük'te bu oran yaklaşık %16,4'tür. Bu veri, Karabük özelinde konut stoğuna ilişkin verilerin güncellenmesi veya kayıt sisteminin iyileştirilmesi gereksinimine işaret etmektedir. Sonuç olarak veriler Karabük'teki yapıların yaş ortalamasının Türkiye geneline kıyasla daha yüksek olduğunu, yeni yapı oranının görece düşük kaldığını ve yapı envanteri konusundaki bilgi eksikliğinin daha belirgin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. İl ve ikamet edilen binanın kat sayısına göre hane halkı sayısı ve oranı (TÜİK, 2021d; TÜİK, 2021e).

		KARABÜK	ANKARA	İSTANBUL	TOPLAM
Hane halkı sayısı		85.036	1.874.093	4.755.086	25.329.833
Ortalama kat sayısı		4,3	7,1	6,9	5,0
Bina kat sayısı (%)	1	5,8	3,1	2,1	11,7
	2	24,8	4,0	3,7	17,3
	3	12,3	3,4	6,2	11,3
	4	11,5	6,4	10,2	10,7
	5	20,4	24,2	22,9	14,4
	6	25,3	59,0	54,9	34,4

2021 yılı TÜİK verilerine göre hane halklarının %11,7'si 1 katlı, %17,3'ü 2 katlı, %11,3'ü ise 3 katlı binalarda ikamet etmektedir (Çizelge 1). Dolayısıyla toplamda %40,3'lük bir kesim, yatay mimari kapsamında değerlendirilebilecek 3 kat ve daha az katlı yapılarda yaşamaktadır. Buna karşılık 4 kat ve üzeri binalarda yaşayan hanelerin oranı %59,7'ye ulaşmakta olup bu durum Türkiye'de dikey yapılaşmanın ağırlık kazandığını göstermektedir. Özellikle 5, 6 ve 10 kat ve üzeri binalarda yaşayan hane halklarının yüksek oranları, yapı stokunun giderek daha fazla çok katlı konutlar üzerine kurulduğunu ortaya koymaktadır. Bu dağılım, Türkiye'deki kentleşme modelinin, özellikle büyükşehirlerde yoğunluk artışı ve arsa maliyetlerinin etkisiyle dikey mimariye yöneldiğine işaret etmektedir.

Ancak yatay mimaride 3 kat ve daha az katlı yapıların hâlen %40'ın üzerinde bir oranla temsil edilmesi, bu yapı biçiminin tamamen kaybolmadığını ve yeniden planlamaya açık bir alan sunduğunu göstermektedir. Yatay mimari yalnızca estetik ve kültürel değerler açısından değil aynı zamanda afet riski, sosyal etkileşim, mahalle kültürü, yaşlı ve çocuk dostu çevreler gibi birçok açıdan yaşanabilir kentler için önemli bir model sunmaktadır. Türkiye gibi deprem riski yüksek bir ülkede dikey yapılaşmanın yarattığı fiziksel ve sosyal kırılganlıklar göz önünde bulundurulduğunda, yapılaşmaya dair kentsel politikaların yeniden düşünülmesi gerekmektedir. Özellikle küçük ve orta ölçekli şehirlerde, yeni gelişme alanlarında yatay yapılaşmanın teşvik edilmesi, sürdürülebilir kentleşme açısından stratejik bir öncelik olarak değerlendirilmelidir.

2021 yılı TÜİK verilerine göre Karabük ilinde toplam 85.036 hane ikamet etmektedir ve bu hanelerin yer aldığı binaların ortalama kat sayısı 4,3 olarak belirlenmiştir (TÜİK, 2021d). Bina kat sayısına göre dağılım incelendiğinde, 1 katlı binalarda yaşayan hane halklarının oranı %5,8 (4.890 hane), 2 katlı binalarda %24,8 (21.095 hane), 3 katlı binalarda ise %12,3 (10.420 hane) olarak hesaplanmaktadır (TÜİK, 2021d). Bu üç kategori birlikte değerlendirildiğinde, Karabük'teki hanelerin %42,9'u yatay mimariye uygun (3 kat ve altı) binalarda ikamet etmektedir. Orta ve çok katlı yapılara bakıldığında ise, 4 katlı binalarda yaşayanların oranı %11,5 (9.815 hane), 5 katlı binalarda %20,4 (17.326 hane), 6 kat ve üzeri binalarda ise %25,3 (21.490 hane) olduğu görülmektedir (TÜİK, 2021e). Bu veriler, Karabük'te hane halklarının yaklaşık %57,1'inin çok katlı veya yüksek katlı sayılabilecek binalarda yaşadığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık yalnızca %42,9'luk kesimin üç kat ve altındaki yapılarda ikamet etmesi, Karabük'ün yatay mimarinin sunacağı faydalardan yararlanabilecek önemli fakat kullanılmamış bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

4. YATAY MİMARİNİN KARABÜK İLİ ÖZELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yatay mimari, yaşam kalitesini arttıran, doğal doku ile uyumlu, sosyal etkileşimi destekleyen bir kentsel planlama anlayışı sunar. Karabük özelinde, bu mimari yaklaşımın daha geniş alanlara yayılması, kent dokusunun insan merkezli olarak gelişmesini sağlayabilir. Karabük ili, yatay mimari benimsemesi konusunda Yenişehir yerleşimi ve 5000 Evler yerleşimi gibi toplu konut üretimlerinin gerçekleştirildiği önemli deneyimlere sahiptir. Raporun bu kısmında, Yenişehir yerleşiminin inşa süreci ve planlama kriterleri ile 5000 Evler toplu konut yerleşiminin analizi ele alınacaktır.

4.1 Yenişehir Yerleşimi: Erken Cumhuriyet Dönemi Yatay Mimari Örneği

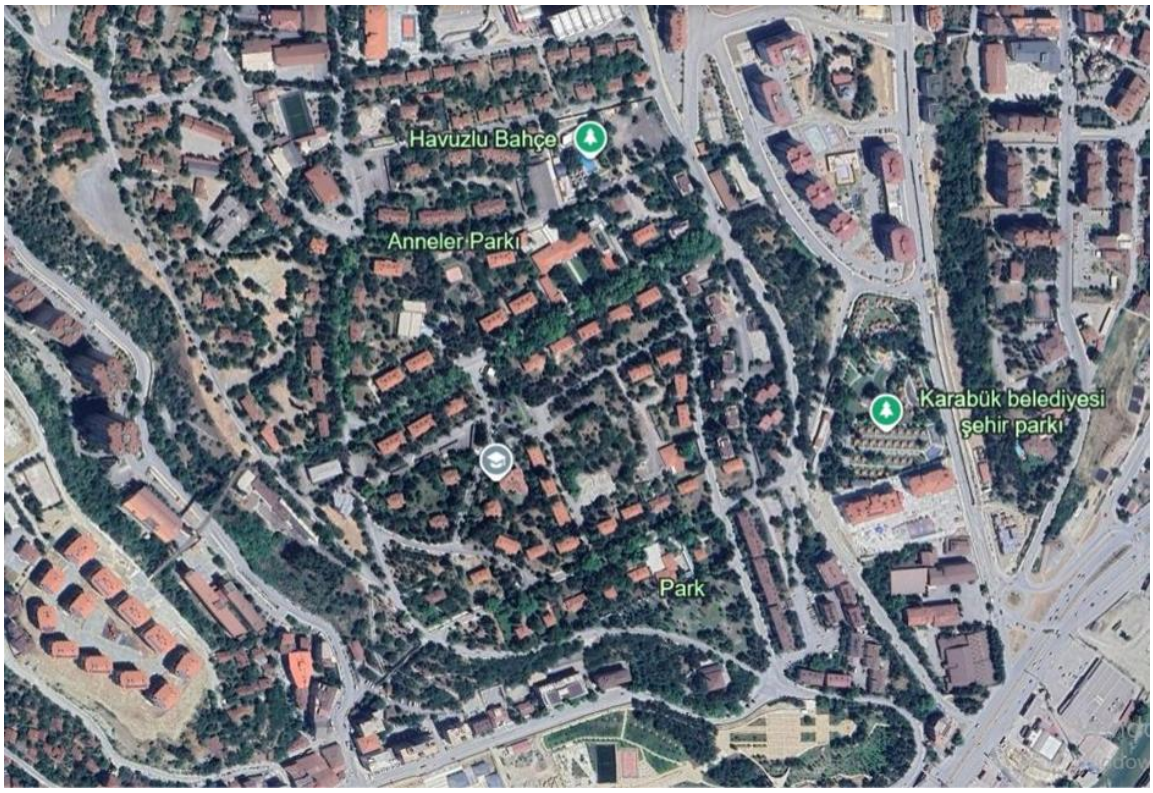
Yenişehir, Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları'nın kurulmasıyla birlikte, sanayi çalışanlarının barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla planlanmış bir yerleşimdir (Görsel 2). Bu planlama süreci, sosyal donatı alanları, yeşil alan düzeni ve düşük yoğunluklu yapılaşma prensiplerini içermektedir. Yatay mimari, burada bireylerin yaşam alanlarında konforlu ve insan merkezli bir yerleşim sağlamıştır. Yenişehir yerleşimindeki lojmanlar, erken Cumhuriyet Dönemi'nin planlı ve sosyal odaklı kentleşme anlayışının bir parçası olarak tasarlanmıştır. Yenişehir yerleşiminin tasarımında dikkate alınan başlıca kriterler şunlardır:

Düşük Yoğunluklu Yapılaşma: Yatay mimari prensiplerine uygun olarak, nüfus yoğunluğunun dengeli dağıtılması sağlanmış, binalar arasındaki mesafeler korunarak yaşam kalitesi arttırılmıştır. Yenişehir'de genellikle tek veya iki katlı, müstakil ya da ikiz konut tipi lojmanlar inşa edilmiştir. Bazı alanlarda az katlı apartman blokları da bulunmakta olup, tüm yapılar geniş bahçeli ve ferah bir yerleşim düzeni sunmaktadır.

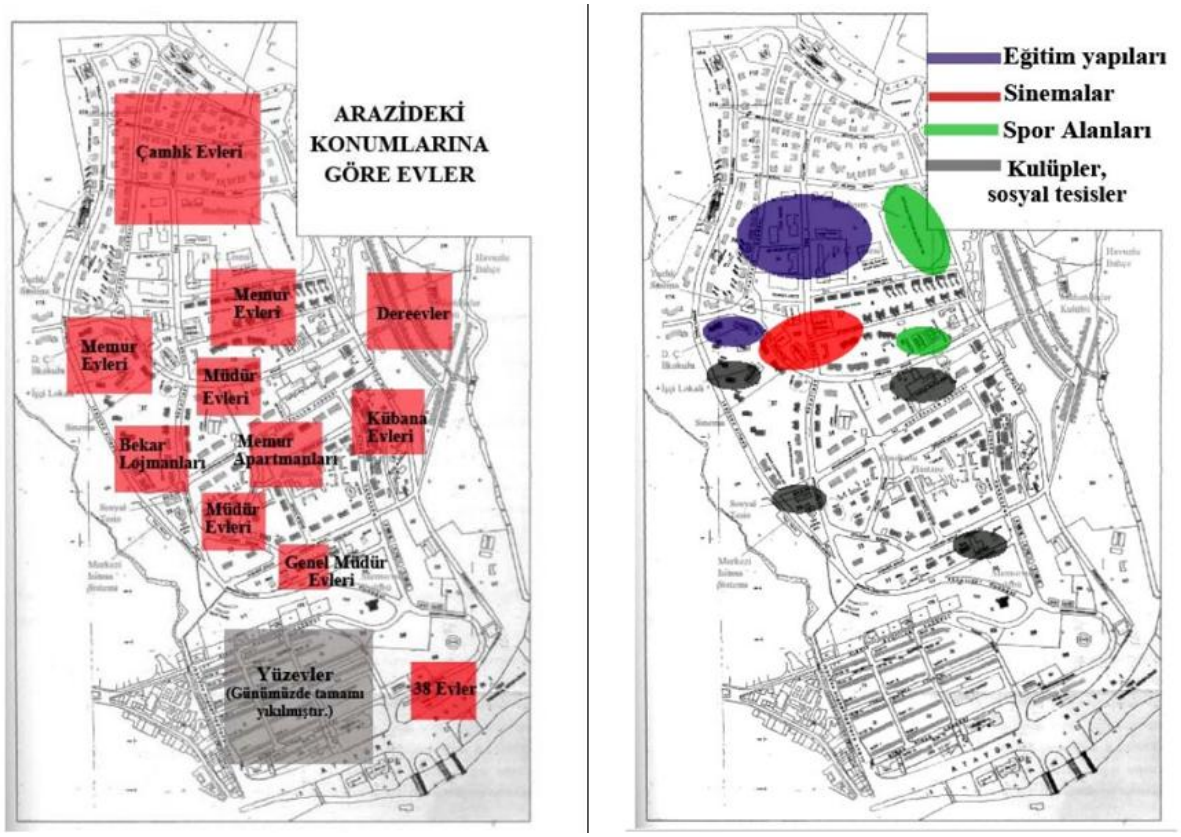
Yeşil Alan ve Sosyal Donatılar: Lojmanlar, doğal çevreyle uyumlu bir şekilde planlanmış olup, bolca yeşil alan ve park alanı içermektedir. Bunun yanı sıra, spor alanları, okullar ve sosyal tesisler gibi donatılar bölgeye entegre edilmiştir.

Fonksiyonel Planlama: Konutlar, çalışanların işlerine kolay erişimini sağlayacak şekilde konumlandırılmış, fabrika ve konut alanları arasında dengeli bir mesafe korunmuştur.

Tip Projeler: Lojmanlar belirli bir tipolojiye sahip olup, malzeme ve yapı kalitesi açısından standartlar belirlenmiş ve uygulanmıştır (Görsel 3).



Görsel 2. Yenişehir yerleşimine ilişkin uydu görüntüsü (Google Earth, 2025)



Görsel 3. Yenişehir yerleşiminde konumlarına göre evler ve sosyal donatılar (Kaya, 2011)

Sosyal Dayanışmayı Teşvike Yönelik Kurgular: Komşuluk ilişkilerini güçlendiren, ortak kullanım alanlarını öne çıkaran bir planlama anlayışı benimsenmiştir. Bu kapsamda, mahalle ölçeğinde ortak kullanım alanları oluşturulmuş, çamaşırhaneler, ortak bahçeler, çocuk oyun alanları, mahalle kahvehaneleri ve kültürel etkinliklerin düzenlendiği sosyal tesisler gibi mekânlar planlamaya dâhil edilmiştir (Görsel 3).

Yenişehir'deki konutlar yalnızca yapı ölçeğinde değil, mahalle bütününde işleyen bir sistemin parçası olarak düşünülmüştür. Evlerin cephe oranları, iç mekân organizasyonları, bahçeye yönelimleri ve doğal aydınlatma ilkelerine uygunlukları dönemin sağlıklı ve modern yaşam ideallerine hizmet edecek şekilde tasarlanmıştır. Mahallede bulunan konut harici tüm birimlerle, cumhuriyetin hedeflediği sosyalleşme ve kamusal kültürün inşası amacıyla da düzenlenmiştir (Onur, 2021: 675-677). Sümerbank İnşaat Fen Heyeti, konut alanlarının planlamasını detaylı olarak gerçekleştirirken, çalışanların sosyal ve kültürel ihtiyaçlarını gözetmiş ve modern yaşamın gereklerini yerine getirecek şekilde altyapıyı oluşturmuştur. Bu çerçevede Karabük'te Yenişehir Mahallesi'nde de işçi evleriyle birlikte eğitim yapıları, çocuk bahçeleri, spor alanları, sinema, lokaller, cami, misafirhane ve umumi banyolar gibi sosyal donatılar bulunmuştur (Görsel 4).



(a) Sinema (b) Sosyal bina (c) Stadyum

Görsel 4. Yenişehir'de bulunan çeşitli yapı örnekleri (Kalyoncu, 2016).

Yenişehir'deki konutlarda modern mimari üslubu benimsenmiş, sosyal sınıflara göre işçi pavyonlarından yönetici konutlarına kadar bir hiyerarşi oluşturulmuştur. Tek işçi yurtları, aile konutlarından ayrı inşa edilmiştir. Konutların tasarımı, işçilerin konforunu artırmaya ve sosyal yaşamlarını desteklemeye odaklanmıştır. Ayrıca bahçeli evler, ailelerin tarımsal faaliyetlere devam etmelerine ve kent yaşamına uyum sağlamalarına olanak tanımıştır. Karabük'teki inşaat faaliyetleri 1936'da 6 adet kübik tarzda apartman binası ve 150 yataklı işçi yurdu ile başlamış; 1939-1948 yılları arasında 920 konutluk bir yapılaşmaya ulaşılmıştır (Görsel 5).



Görsel 5. Yenişehir yerleşiminden çeşitli yapı örnekleri (Saraçoğlu Gezer, 2018).

4.2 5000 Evler Toplu Konut Yerleşimi

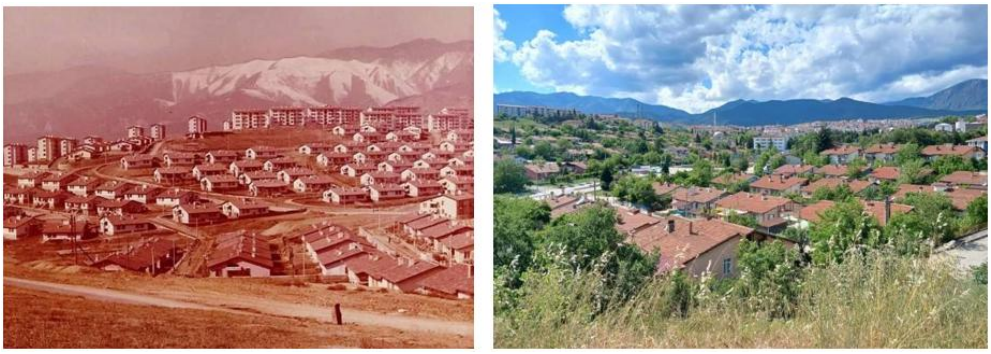
Demir-Çelik Fabrikası'nın kurulmasıyla Karabük sanayi kentine dönüşmüş ve sanayileşmeye bağlı olarak hızla göç almıştır. Bu süreçle birlikte kentte konut sorunu ortaya çıkmış ve gecekondulaşma hızla artmıştır. Bu sorunların çözümüne yönelik olarak çeşitli tedbirler geliştirilmeye çalışılmış, bu kapsamda Bulak tarlaları, "Gecekondu Önleme Bölgesi" kapsamında devletin kamulaştırma programına dâhil edilerek 1969 yılında bu bölgede 5000 Evler toplu konut yerleşiminin inşasına başlanmıştır. 1985 yılına kadar etaplar halinde tamamlanan bu yerleşim, Karabük kent merkezine 5 km, Safranbolu ilçesine ise 3 km uzaklıkta olup yaklaşık 164 hektarlık alan üzerinde kurulmuştur (Görsel 6 ve 7).



Görsel 6. 5000 Evler uydu görüntüsü (Google Earth, 2025)



Görsel 7. 5000 evler 1. ve 2. kısma ait vaziyet planı (Doğan, 2020).



Görsel 8. 5000 Evler Toplu konut yerleşiminin 1976 (solda) ve 2025 (sağda) yıllarına ait görünümleri (Karabük Valiliği, 1985; Fidan, 2025).

Kooperatif yoluyla ve Karabük Belediyesi, Karabük Demir Çelik Fabrikası, Çelik- İş Sendikası, Bayındırlık ve İskân Bakanlığının ortak dayanışmasıyla oluşturulan yerleşimde 5782 konut inşa edilmiştir. Bu proje ile demir çelik fabrikası çalışanlarının birer mesken sahibi olabilmeleri ve kentte gecekondulaşmanın önlenmesi amaçlanmıştır. Ortak mülkiyet şeklinde oluşturulan yerleşimde kamuya ait olan konutlar, ailelerin nüfusu ve gelir durumu gibi etkenler dikkate alınarak puanlama ile tahsis edilmiştir. Şuandaki mülkiyetler ise kişilere aittir. 5000 Evler Toplu Konut Projesi'nin uygulanması, Safranbolu ve Karabük'te kooperatif yöntemiyle konut üretimine teşvik etmiş ve gecekondulaşmayı önemli ölçüde engellemiştir. Ayrıca apartmanlaşma olgusunun önünü açarak modern apartman kurgusunun yaygınlaşmasını sağlayan girişimlerden biri olmuştur.

5000 Evler toplu konut yerleşimi, yapıldığı dönem için bu öncül özelliklere sahip olmasının yanı sıra yatay mimari kurgusu ile günümüz için de referans alınabilecek nitelikli örneklerden biridir. Az katlı konutların üretildiği projede yeşil doku ön planda tutulmuş, sosyal donatılar da düşünülmüştür. Alandaki konutların inşası 3 kısımda tamamlanmıştır. İlk etapta tek ve iki katlı konutlar inşa edilmiştir (Görsel 8). Ancak barınma açığını karşılamada bunların yetersiz geleceği öngörülerek 2. etapta üç katlı, 3. etapta ise üç ve dört katlı konutlar üretilmiştir. Yerleşmedeki konutların yaklaşık %25'i bir ve iki katlıdır. Bu yapılar yerleşim içinde diğerlerinden ayrı alanlarda yer alırken, ikiz tipli ve bitişik düzendedir. Blok apartman şeklindeki konutlardan üç katlı olanlar ayrık düzendeyken, dört katlı olanları ise ayrık veya bitişik olarak tasarlanmıştır. Bu blok yapılar yerleşimde karışık şekilde konumlanmaktadır. İçinde bir aileyi barındıracak şekilde yapılan tek katlı konutlar 103 m^2 büyüklüğündedir. Diğer az katlı konutlar ise birden fazla aileyi barındıran ve çok konutlu yapı anlayışındadır. Bunlar da kullanıcıların mekânsal gereksinimlerini optimum seviyede karşılayacak şekilde farklı m^2'lerde oluşturulmuştur. Konut büyüklüklerindeki ve tiplerindeki bu farklılaşmalar kullanıcılara tercih imkânı sunması açısından projenin başarılı yanlarındandır.

5000 Evler toplu konut yerleşimi, sadece barınma yeri olarak değil aynı zamanda sosyal donatıları da içerecek şekilde planlanmıştır. Bu kapsamda sağlık yapıları, eğitim yapıları, spor alanları, ibadethaneler, idari tesisler, ticari birimler, sosyo-kültürel tesisler, park ve oyun alanları, açık hava sineması, rekreasyon ve ağaçlık alanlar oluşturulmuştur. Sahip olduğu bu mekânlar

sayesinde kullanıcılara çağdaş yaşam olanakları sunan, bireylerin sosyal, kültürel ve rekreatif ihtiyaçlarının karşılandığı ve sağlıklı şekilde yaşam kalitelerinin arttığı bir ortam sağlanmıştır. Bu özelliklerin günümüzde de büyük ölçüde devam ettiği söylenebilir. Yerleşme bütününde yeşil dokunun hâkim olduğu görülmektedir. Tasarımda, geniş yaya kaldırımları, temiz su, kanalizasyon ve yangın tesisatı gibi altyapının düşünülmesinin yanı sıra geniş yeşil alanların oluşturulmasına önem gösterilmiş, her evin bahçeli olmasına dikkat edilmiştir (Görsel 9). Kamusal alanlardaki açık-yeşil alan düzenlemeleri belediye ve kooperatifin birlikte çalışması ile yapılmış, konut bahçesi gibi özel mekânlar ise kullanıcıları tarafından düzenlenmiştir. Tek ve iki katlı konutların kendilerine ait asgari 250 m^2 bahçeleri bulunmaktadır. Yola paralel olarak sıra şeklinde dizilmiş bu konutların bahçelerinde süs bitkileri ve meyve ağaçları yer almakta, günlük ihtiyaçların karşılanmasına yönelik sebze yetiştirilmektedir. Bazı bahçelerde ise kümes hayvancılığının yapıldığı da görülmektedir. Diğer konutlarda ise daire sayısının artışına bağlı olarak bahçe büyüklüğü daha fazladır. Bunlarda bitkisel düzenlemeler ön bahçelerde yoğunlaşırken, arka bahçeler daha çok otopark amaçlı kullanılmaktadır. Yerleşme tek ve çok konutlu yapıların özellikle ön bahçeleri ortak oturma mekânı olarak kullanılmaktadır. Bu sayede komşuluk ilişkileri de güçlenmektedir. Yerleşmede geniş yeşil alan düzenlemeleri yapılarak Karabük kentinin hava kirliliğine karşı tedbir de alınmaya çalışılmış ve sağlıklı yaşam ortamı yaratılmıştır. Ayrıca alandaki yapılaşmada, yoğunluğu rant amaçlı artırmak yerine dolu-boş dengesi iyi kurularak ve kat sayısı az tutularak yapıların birbirinin güneşini ve manzarasını engellemesinin de önüne geçilmiştir. Bu durum enerji tasarrufu da sağlamaktadır.



Görsel 9. 5000 evlerde sokak ve bahçe ilişkileri (Fidan, 2025)

5000 Evler toplu konut yerleşmesi, yatayda ve düşeyde insan ölçeğinde yapılaşma sunan, mekânsal ihtiyaçların karşılanmasında kendi kendine yetebilen, insanların toprakla temasını artıran ve komşuluk ilişkilerini güçlendirerek mahalle kültürünü yaşatan özellikleri ile yatay mimariye örnek verilebilecek niteliktedir. Günümüz kentlerinde hâkim olan dikey mimari anlayışının getirdiği sorunlara çözüm noktasında oluşturulacak yeni konut alanları için bu örneklerden daha çok yararlanılması gerekmektedir.

5. SONUÇ

Günümüz kentlerinde hem Türkiye hem de küresel ölçekte hızla artan nüfus ve buna paralel olarak sürekli artan kentsel yoğunluk, sürdürülebilir mimari anlayışına uygun olmayan altyapı sistemleri, ulaşım ağları, kamusal alanlar ve çevresel taşıma kapasitesi gibi birçok unsur üzerinde giderek artan bir baskı oluşturmaktadır. Yoğun ve dikey yapılaşmanın hâkim olduğu mevcut kent formu hava kalitesi, ısı adası etkisi, sosyal ayrışma ve yaşam kalitesi gibi çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunların bir kısmı, doğal ışık ve hava akışının engellenmesi, yeşil alan sürekliliğinin bozulması ve erişilebilirliğinin azalmasıyla daha da derinleşmektedir. Bu durum, "nasıl bir şehirde yaşamalıyız?" veya "bir ülkede nasıl bir kentleşme ya da konut politikası uygulanmalıdır?" sorularını yalnızca teknik bir planlama meselesi olmaktan çıkararak insan türünün yeryüzündeki geleceğine ilişkin varoluşsal bir sorgulamaya dönüştürmektedir. Veriler hem Türkiye'de hem de dünyada kentsel nüfus artışının ötesinde kentlerin fiziksel olarak orantısız biçimde genişlediğini ve bunun gerçek anlamda bir "şehir" üretmek yerine doğayı betonla kuşatan mekânsal alanlar yarattığını göstermektedir. Bu genişleme insanların yaşam alanı inşa ederken aynı anda kendi ekolojik dayanaklarını tüketen çelişkili bir kentleşme biçimine işaret etmektedir.

Bu doğrultuda bir konut politikası olarak ele alınan yatay mimari modeli, yalnızca yapı yüksekliğine ilişkin bir tercih olmanın ötesinde, çevresel ve kentsel sürdürülebilirlik ve kentsel yaşamın niteliği açısından stratejik bir planlama yaklaşımı veya modeli olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'de de artan nüfus baskısı, dikey yapılaşmanın getirdiği kentsel sorunlar ve değişen yaşam tercihlerinin etkisiyle daha düşük yoğunluklu ve ekolojik yaşam biçimlerine yönelik eğilim güçlenmekte olup bu durum konut politikalarının yeniden ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu eğilim aynı zamanda yatay mimarinin doğal havalandırma, yeterli güneşlenme, daha düşük enerji tüketimi ve erişilebilirlik gibi sağladığı mimari imkânlarıyla da uyumluluk göstermektedir.

Yatay mimari, çoğu zaman yalnızca bir yapılaşma biçimi olarak değerlendirilse de literatürde insan ölçeği, mekânsal adalet ve sürdürülebilir kent formuna ilişkin çalışmalar çerçevesinde düşük katlı yerleşim modellerinin yalnızca fiziksel bir tercih değil aynı zamanda daha sürdürülebilir bir kentleşme yaklaşımının parçası olarak ele alındığı görülmektedir. Düşük yoğunluklu, iyi havalandırılan ve yeşil alanlarla bütünleşik yerleşimler kentsel ısı adası etkisini azaltabilir, doğal ışık ve hava sirkülasyonundan yararlanmayı artırarak enerji tüketimini düşürebilir ve yeşil altyapı ile uyumlu tasarımları kolaylaştırabilir. Aynı şekilde bahçeli yaşamın sunduğu kentsel tarım olanakları, organik atıkların kompostlanması, mahalle ölçekli sosyal etkileşim ve yerel biyoçeşitliliğin desteklenmesi gibi ek yararlar da yatay mimarinin sürdürülebilirlik etkisini güçlendirmektedir. Afet riski açısından bakıldığında ise yoğun ve yüksek katlı yapılaşmanın yarattığı "yığılma etkisi" yatay mimariyle sınırlanabilecektir. Büyük şehirlerin yanı sıra orta ve küçük ölçekli şehirlerde de gittikçe yükselerek yayılan yapılı çevrenin insanı ezici etkisini azaltmak için kent planlama ve tasarım stratejilerinin insan odaklı yaşanılır şehirler oluşturma amacıyla geliştirilmesi gerekmektedir. Yatay mimari tasarımın yaygın olduğu konut alanları insan ölçeğinde bir kentsel çevre oluşturmaktadır. Yatay mimarinin öncelikle merkezi idare ve yerel yönetimler ile şehir plancıları tarafından benimsenmesi önem taşımaktadır. Bu bağlamda, kent planlamasında yatay mimariyi öne çıkaran politikalar benimsenmeli, insanın yanı sıra diğer canlıların ihtiyaçlarını da gözeten,

yaşanılır ve sürdürülebilir yaşam çevrelerinin oluşturulması hedeflenmelidir. Yatay mimarinin benimsenmesi, depreme dayanıklı güvenli ve dirençli kentlerin oluşturulması için kent politikasında yer alması gereken en stratejik hedeftir.

Bu çalışmada, yatay mimari anlayışı bağlamında Karabük ilinde Yenişehir ve 5000 Evler yerleşimlerinden elde edilen mekânsal ve toplumsal deneyimler, günümüzde konut gelişim alanlarının planlanmasına yönelik önemli bir referans çerçevesi sunmaktadır. Bu yerleşimlerde gözlemlenen yatay mimari temelli kentsel düzenlemeler, insan ölçeğini önceleyen mekânsal organizasyonları ve sosyal etkileşimi destekleyen mahalle yapılarıyla dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, yatay mimari anlayışını esas alan yeni konut projeleri, Karabük'ün mevcut kent dokusunun niteliksel olarak iyileştirilmesine ve kentsel yaşam kalitesinin artırılmasına yönelik etkili çözümler geliştirilmesine olanak tanıyabilir. Karabük'te yatay mimari yaklaşımının planlama politikaları çerçevesinde teşvik edilmesi, kentsel çevrenin sürdürülebilirlik ve yaşanabilirlik düzeylerinin yükseltilmesine katkı sağlayacaktır. Bu modelden hareketle yerel yönetimler tarafından uygulanabilir, bütüncül ve uzun vadeli stratejilerin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Ayvazoğlu, B. (2019). Dünyayı güzelleştirmek, Turgut Cansever'le konuşmalar. İstanbul: Kapı Yayınları.

Can, A. ve Doğan, M. (2019). Bir şehir kurmak, Turgut Cansever'le konuşmalar. İstanbul: Klasik Yayınları.

Cansever, T. (2002). Mevcut yapı stoku felaketimiz olacak. Üstatlar konuşuyor (s. 120–139). İstanbul: Türk Edebiyatı Vakfı Yayınları.

Cansever, T. (2010). Osmanlı şehri. İstanbul: Timaş Yayınları.

Cansever, T. (2014). Kubbeyi yere koymamak. İstanbul: Timaş Yayınları.

Cansever, T. (2016). İslam'da şehir ve mimari. İstanbul: Timaş Yayınları.

Corbusier, L. (1999). Bir mimarlığa doğru (S. Merzi, Çev.). İstanbul: YKY.

ÇŞİDB, (2024). Şehircilik Alanında Genel Durum. TC. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Erişim Adresi: https://sehirciliksurasi.csb.gov.tr/sehircilik-alaninda-genel-durum-i-271.

Doğan, N., & Birlik, Ö. Ü. S. (2020). Renkli Kentler (Norveç): Temel Tasarım İlkeleri Doğrultusunda Karabük Özelinde Bir Deneme (Yüksek Lisans Tezi) Karabük Üniversitesi, Karabük).

Dünya Bankası (2024). World Development Indicators: Table 3.12 – Urbanization. Erişim Adresi: https://wdi.worldbank.org/table/3.12.

Düzenli, H. İ. (2016). Ufki şehir, Turgut Cansever'in izinde. İstanbul: Klasik

Fidan, F. (2025). Fotoğraf arşivi.

Fishman, R. (2016). Yirminci yüzyılda kent ütopyaları (D. Toprak, Çev.). İstanbul: Daimon.

Gürboğa, N. (2024). Önsöz İçinde N. Gürboğa (Ed.), Cumhuriyetin 100. yılı kentleşme ve çevre tarihi (ss. vii–xix). İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.

Howard, E. (2019). Yarının bahçe kentleri (A. Volkan, Çev.). İstanbul: Daimon.

Kalyoncu, H. (2016). Zaman, Mekân ve Anılarla Karabük, Karabük: Kardemir AŞ Yayınları.

Karabük Valiliği (1985). Karabük İl Yıllığı. Karabük Valiliği İl Kültür Müdürlüğü, 55.

Kaya, S. (2011). İdeoloji, Gündelik Yaşam Pratikleri ve Mekân Etkileşiminde Karabük Demir Çelik Fabrikaları Yerleşiminden Öğrendiklerimiz. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara.

Onur, B. (2021). "Endüstri Kenti Karabük'ün Modern Mahallesi Yenişehir'de Konut Tipolojileri", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı: 23, s. 666-677.

Ökten, S. (2019). Aslında bir sanat var: Sanat, birey ve toplum üzerine. İstanbul: Tuti Kitap.

Saraçoğlu Gezer, A. M. (2018). Erken Cumhuriyet Döneminde Karabük'te Planlama Alanı Dışında Gelişen Yapıların Cephe Analizi: Bayır Mahallesi Örneği. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Karabük.

Simmel, G. (1970). The metropolis and mental life. A. N. Cousins & H. Nagpaul (Eds.), Urban man and society, (37-45). Newyork: Alfred S Knopf Inc.

TUİK (2021a). Bina İstatistikleri: İkamet Edilen Binanın İnşa Yılına Göre Hanehalkı Sayısı, Türkiye İstatistik Kurumu Nüfus İstatistikleri Portalı, Erişim Adresi: https://nip.tuik.gov.tr/?value=BinaIstatistikleri.

TUİK (2021c). Tablo-8 İllere ve ikamet edilen binanın inşa yılına göre hanehalkı sayısı ve oranı. TÜİK Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması 2021, Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Survey-on-Building-and-Dwelling-Characteristics-2021-45870.

TUİK (2021d). Tablo-1 Hanehalklarının bina kat sayısına göre dağılımı. TÜİK Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması 2021, Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Survey-on-Building-and-Dwelling-Characteristics-2021-45870.

TÜİK (2021e). Tablo-2 İl ve ikamet edilen binanın kat sayısına göre hanehalkı sayısı ve oranı.

TÜİK Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması 2021, Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Survey-on-Building-and-Dwelling-Characteristics-2021-45870.

TÜİK (2023). Kent-Kır Nüfus İstatistikleri, 2022. TÜİK, Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kent-Kir-Nufus-Istatistikleri-2022-49755.

Wilson, B. (2024). Metropol: En büyük insan icadının tarihi. İstanbul: Domingo Yayınları.

MİMARİ PLANLAMA KARARLARININ DEPREM YÖNETMELİĞİ ÇERÇEVESİNDE ANALİZİ: L, T VE U FORMLU KONUT YAPILARINDA PLANDA DÜZENSİZLİK SORUNU

Yüksek Mimar Rabia Safa ÖZEN

Konya Teknik Üniversitesi
e208126001003@ktun.edu.tr ORCID NO:0000-0001-6981-8554

Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
Konya Teknik Üniversitesi
szkorkmazktun.edu.tr ORCID NO: 0000-0003-1234-1438

ÖZET

Günümüzde mevcut betonarme yapılarda tespit edilen en önemli hatalardan biri, yapıların deprem dayanımlarının yetersiz olmasıdır. Yaşanan depremlerin ardından yapılan gözlemler, hasarlı ve yıkılan yapıların mimari tasarımlarında benzer hataların bir arada yapıldığını göstermektedir. Bu çalışmada mevcut betonarme yapıların deprem dayanımları mimari kat planı üzerinden değerlendirilmektedir. Türkiye'de mimari kat planı tasarımı ile taşıyıcı sistem tasarımı arasındaki ilişkinin önemi vurgulanmaktadır. Çalışmada, konut kullanımlı, asimetrik formlu mimari kat planına sahip örnek yapılar incelenmektedir. Özellikle A3 – planda girinti çıkıntı bulunması düzensizliği içeren kat planlarından örnekler sunulacak ve mimari kat planlarının deprem davranışına etkileri ele alınacaktır. Yapının plan geometrisi, taşıyıcı sistem düzeni, kolon–kiriş sürekliliği gibi kriterler, deprem yönetmeliğinde yer alan plan düzensizlikleri kapsamında değerlendirilerek, inceleme gözlemsel teknik ile yapılmaktadır. Depreme dayanıklı yapı "taşıyıcı sistemi çözülmüş yapı" olarak değerlendirilse de taşıyıcı sistemin düzeni doğrudan mimari tasarım kararlarıyla şekillenmektedir. Depreme uygun olmayan kat planına sahip bir mimari tasarım, taşıyıcı sistemi hesaplarla optimize edilse de deprem anında yapısal hasar ve göçmeye neden olabilmektedir. Bu nedenle, A3 düzensizliğine sahip kat planlarının düzensizliği burulma düzensizliklerinin mimari tasarım aşamasında giderilmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımında kritik bir öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: A3 düzensizliği, Mimari kat planı, Depreme dayanıklı yapı tasarımı

ARCHITECTURAL PLANNING DECISIONS ANALYSIS WITHIN THE FRAMEWORK OF EARTHQUAKE REGULATION: THE PROBLEM OF IRREGULARITY IN PLAN FOR L, T, AND U FORMED RESIDENTIAL BUILDINGS

High Architect Rabia Safa ÖZEN
Konya Technical University
e208126001003@ktun.edu.tr ORCID NO: 0000-0001-6981-8554

Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
Konya Technical University
szkorkmazktun.edu.tr ORCID NO: 0000-0003-1234-1438

ABSTRACT

One of the most significant deficiencies identified in existing reinforced concrete buildings today is their inadequate earthquake resistance. Observations made following earthquakes demonstrate that damaged and collapsed buildings often share similar mistakes in their architectural designs. This study evaluates the earthquake resistance of existing reinforced concrete structures based on the architectural floor plan. It emphasizes the importance of the relationship between architectural floor plan design and the structural system design in Turkey. The study examines example residential buildings with asymmetrical architectural floor plans. Specifically, examples from floor plans featuring the A3 irregularity – the presence of re-entrant corners in plan – will be presented, and the effects of architectural floor plans on earthquake behavior will be discussed. The analysis uses an observational technique, evaluating criteria such as the building's plan geometry, structural system layout, and column-beam continuity within the scope of plan irregularities defined in the earthquake regulation. Although an earthquake-resistant structure is considered a "structure with a resolved structural system," the arrangement of the structural system is directly shaped by architectural design decisions. An architectural design with a floor plan that is unsuitable for earthquakes can lead to structural damage and collapse during an earthquake, even if the structural system is optimized through calculations. Therefore, the elimination of irregularity, particularly torsional irregularities caused by A3 irregularity in floor plans, at the architectural design stage is critically important for earthquake-resistant building design.

Keywords: A3 irregularity, Architectural floor plan, Earthquake-resistant building design

1. GİRİŞ

Depremler sonrasında üzerinde durulması gereken en önemli konulardan biri, yapıların mevcut yönetmelik ve standartlara uygun inşa edilip edilmemesidir. Yapı malzeme kalitesi, yapım hataları ve yürürlükteki yönetmeliklerin yetersizliği gibi konular gündeme gelmektedir (Güner, 2020). Ancak deprem performansları incelenen birçok yapının, inşa edildiği dönemde yürürlükte bulunan yönetmeliklere uygun olarak tasarlandığı ve gerekli birimlerden onay aldığı bilinmektedir. Ancak meydana gelen yıkımlar ve ağır hasarlar, tasarım aşamasından yapım sürecini kapsamaktadır. Tasarım eksiklikleri, plan düzensizlikleri ve yapım hatalarının önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir. Yapıların deprem dayanımı yalnızca hesaplar üzerinden değil, mimari ve taşıyıcı sistem bütünlüğü açısından da yeniden değerlendirme gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Ülkemiz, depremselliği yüksek olmakla birlikte, her depremde ciddi can ve mal kayıpları yaşandığı 6 Şubat depreminde gözler önüne serilmektedir. Bu kayıpların azaltılması amacıyla, yapıların deprem etkisi altındaki davranışını en gerçekçi şekilde ortaya koymak ve hasar oluşumunu önlemek için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) esas alınmaktadır. 2010 yılı sonrasında Türkiye'de meydana gelen önemli depremler ve bu depremlerden sonra yapılan saha gözlemleri değerlendirilmektedir. 2011 Simav (Mw=5.7), 2011 Van (Mw=7.1), 2020 Elâzığ-Sivrice (Mw=6.8) ve 2020 İzmir-Seferihisar (Mw=6.6) depremleri ele alınmaktadır. 2011 Simav depreminde hasarın büyüklüğü 2007 yönetmeliğinin uygulanmasının önemini bir kez daha vurgulamaktadır. (İnel vd., 2011; Doğangün vd., 2013). 2011 Van depreminde 600'den fazla can kaybı ve çok sayıda yapı göçüğü yaşanmıştır (AFAD, 2011; Bedirhanoğlu, 2011). 2020 Elâzığ-Sivrice depreminde özellikle eski yönetmeliklere göre inşa edilmiş yapı stoğunun büyük oranda hasar aldığı gözlemektedir (Gökçeoğlu vd., 2020). 2020 İzmir-Seferihisar depreminde özellikle kat sayısı fazla olan betonarme yapıların birkaç düzensizliği bir arada bulundurmasının hasara yol açtığı tespit edilmiştir (Akansel, 2021; Çetin vd., 2021).

Bu depremlere ek olarak, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli Pazarcık (Mw=7.7) ve Elbistan (Mw=7.6) depremleri ülkemiz yapı stoğundaki depreme dayanıklı yapı kavramındaki yetersizliğinin en çarpıcı örneklerindendir. On binlerce yapının tamamen göçtüğü bu depremler, deprem yönetmeliği ile birlikte mimari tasarım kriterlerini, zemin özelliklerini, düzensizliklerin yapısal davranışı olumsuz yönde etkilediğini açıkça göstermektedir.

Depremlerde gözlemlenen bu yapısal hasarlar, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinde tanımlanan düzensizlik türleriyle (plan düzlemindeki A1: burulma, A2: döşeme süreksizliği, A3: planda girinti-çıkıntı; düşey doğrultudaki B1: zayıf kat, B2: yumuşak kat, B3: düşey eleman süreksizliği) doğrudan ilişkilidir (İnan, 2014). Depremler sonrası yapılan değerlendirmelerde, her düzensizliğin belirli ölçüde barındırdığı; ancak özellikle plan düzensizliklerinin (A3) yapının deprem performansını azalttığı görülmektedir. Mimari plan kararlarından kaynaklanan bu düzensizlikler, statik hesaplar ve çözümler ile yeniden düzenlense bile deprem etkisi altında yapısal bütünlüğü korumada yetersiz kalmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında temel hedef, depremin her yönden gelebileceği düşünülerek yapı güvenliğinin sağlanmasıdır. Bu amaç, dayanıklılığın yanı sıra; aynı zamanda çağdaş, ekonomik ve sürdürülebilir yapı üretimini de gerektirir (Takagi, 2019). Yapıların deprem dayanımı, mimari tasarım sürecinde şekillenmeye başlamakta ve mimari kararlar, taşıyıcı sistem davranışını doğrudan etkilemektedir. Araştırmalar, depreme dayanıklı tasarımın

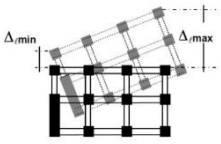
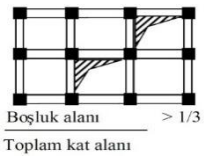
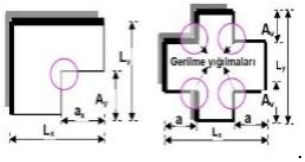
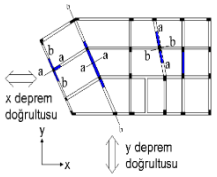
yalnızca mühendislik hesaplarıyla değil, mimari tasarım kriterleriyle de belirlenmesi gerektiğini göstermektedir. Deprem sonrasında yıkılan yapılar incelendiğinde, düşük malzeme kalitesi ve yapım hatalarının yanı sıra, mimari kat planlarında ve düşey doğrultuda yapılan düzensizliklerin yapıların deprem performansını olumsuz etkilediği görülmektedir. Ekonomik ve estetik kaygılarla oluşturulan tasarımlar taşıyıcı sistemde zorlanmalara yol açarak yapı güvenliğini zayıflatmaktadır. Bu nedenle mimarın, tasarımın erken aşamalarında deprem etkisini dikkate alması, yapının deprem hareketi altındaki davranışını öngörmesi ve buna göre plan kararlarını oluşturması büyük önem taşır.

Deprem dayanımına zayıf olan bir mimari yapıyı sonradan dayanıklı hale getirmek zordur; ancak başlangıçta iyi planlanmış bir tasarımla yapı daha güvenli, daha kullanışlı ve ekonomik bir çözüme ulaşmaktadır. Strüktür sistemdeki düzensizliklerin azaltılması ve mimari bütünlüğün korunması, depreme dayanıklı yapı tasarımının en temel unsurlarıdır. Mimarların tasarımının ilk evrelerinde aldığı temel kararlar olan çekirdek yerleşimi, planda ve kesitteki dolu ve boş alanlar, kütlenin biçimlenişi, planda taşıyıcı sistem tasarımını, yapının rijitliğini ve güvenliğini önemli ölçüde etkiler. Mimarın, yapı güvenliğini sağlayan tasarımlar üretmesi için yapı ile ilgili esaslara ve yönetmeliklere uygun tasarımı ortaya koyması gerekmektedir.

1.1. Deprem Yönetmeliği Planda Düzensizlik Durumları

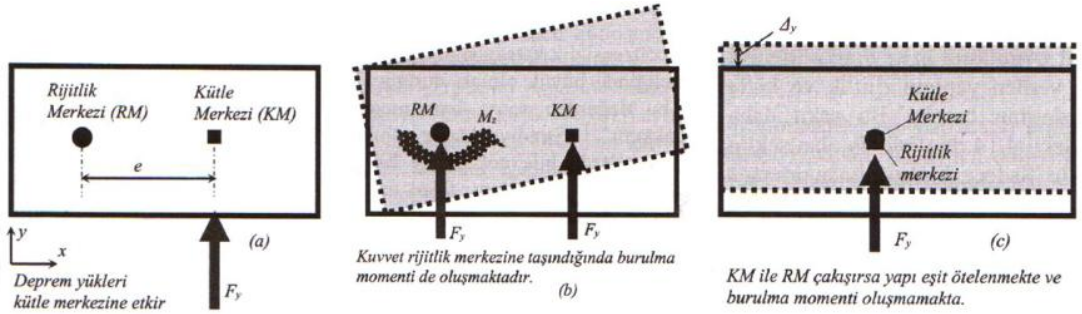
Plandaki düzensiz akslar, kolonlar ve konsollar yapının deprem davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Kirişlerle bağlantısı olmayan kolonlar, çerçeve sistemlerindeki süreksizlikler olası bir depremde ciddi hasarların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde betonarme yapılarda yaşanan depremlerin akabinde plan kaynaklı düzensizliklerden en çok burulma düzensizliği (A1), döşeme süreksizliği (A2), planda çıkıntı düzensizliği (A3) ve taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması (A4) problemleri karşımıza çıkmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Deprem Yönetmeliği Planda Düzensizlik Durumları

A1-Burulma Düzensizliği	A2-Döşeme Süreksizlikleri	A3- Planda Çıkıntılar Bulunması	A4- Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması
			
Yapı rijitlik merkezi ile kütle merkezi örtüşmemesi sonucu oluşan bir düzensizlik durumudur.	Bir kattaki döşemede boşluk alanları toplamı kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumudur.	Kat planlarında çıkıntı yapan kısmın binanın o katının aynı doğrultu da toplam plan boyutlarının %20' daha büyük olması durumu	Planda taşıyıcı sistem elemanlarının düzensiz veya simetrik olmayan biçimde yerleştirilmesi

Yapıda herhangi bir katta oluşan en büyük göreli yer değiştirmenin ortalama göreli yer değiştirmeye bölünmesi ile elde edilen değerin 1,2'den büyük olduğu durumlarda meydana gelen düzensizliği burulma düzensizliği olarak nitelendirilmektedir. Burulma düzensizliği

katsayısı olarak tarif edilen ηb'nin 2,0 üst seviye ölçüsünü geçmesi durumunda yapılarda dengesiz şekilde burulma düzensizliği tespit edilir (Özmen, 2004). Yatay yüklerin etkisi altında rijitlik merkezi etrafında bir dönme hareketine maruz kalırlar. Kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmasından doğan öyle bir hareket sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarında ilave iç kuvvetler meydana gelir (Görsel 1).

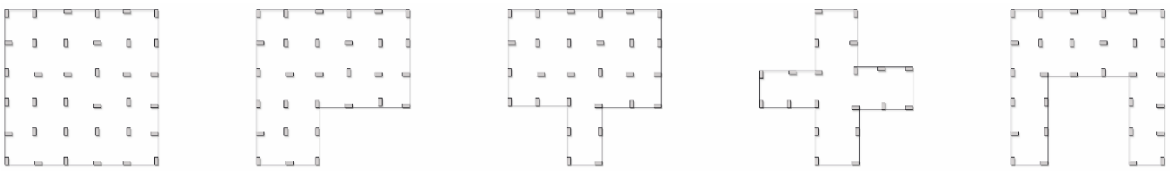


Görsel 1. Kütle ve Rijitlik merkezi çakışma durumları (İdemen,2003)

Yapılarda merdiven boşluğu, aydınlatma için kullanılan ışıklıklar, havalandırma için kullanılan bacalar ve asansör boşluğu meydana getirmek için konulan döşeme yırtıkları beklenmedik hasara neden olmaktadır. Yerleştirilen düşey düzlemdeki belirtilen boşluklar yatay deprem yüklerini sistemdeki çerçeveler arasında güvenle iletilmesine engel olmaktadır. Bu durum sonucunda döşeme süreksizliği düzensizliğin meydana gelmektedir. Döşemenin boşluklarının yatay yüklemelere karşı bir bütün olarak hareket ederek şekil değişikliklerinin önüne geçilmesi gerekmektedir.

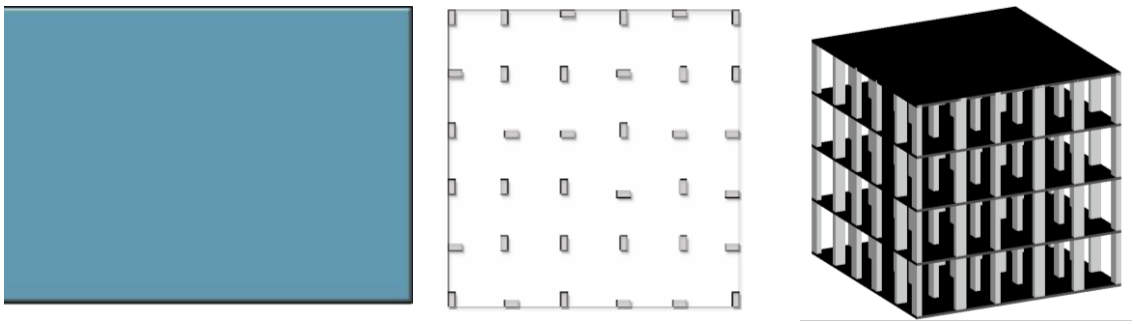
1.2. A3- Planda Çıkıntılar Bulunması

İnşa edilecek yapının arazi durumunun uygun olmayışı veya mimari kısıtlamalardan dolayı dikdörtgen gibi basit geometrilerle tasarlanamayan bina kat planlarında bitişik nizamda büyük girinti ve çıkıntılar olabilmektedir. Dilatasyon derzleri kullanılmamış ise bina geometrilerinin değiştiği ara yüzeylerde gerilme yığılmaları ve dolayısıyla büyük zorlamalar oluşmakta, hatta kısmen ya da tamamen göçme olabilmektedir. L, T, H, U, E olarak tasarlanan karmaşık yapı formları mimari çözüm ve işlevsellik açısından tercih edilmektedir. Bu yapıların iç köşe noktalarında aşırı gerilme yoğunlaşması meydana gelmektedir (Korkmaz, 2019). Düzensiz formların inşasından mümkün olduğunca kaçınılmalı, düzenli formlar tercih edilmelidir (Arı ve Korkmaz, 2020). İşlevselliğe göre bu formlarda tasarlanması tercih edilen yapılar, bir bütün olarak değil, birleşim yerlerinde derz boşlukları bırakılarak tasarlanmalıdır. Bu şekilde yapı daha basit yapı formlarına bölünebilir ve deprem yükleri altında öngörülebilir davranış gösterebilir (Alecci ve De Stefano, 2019).



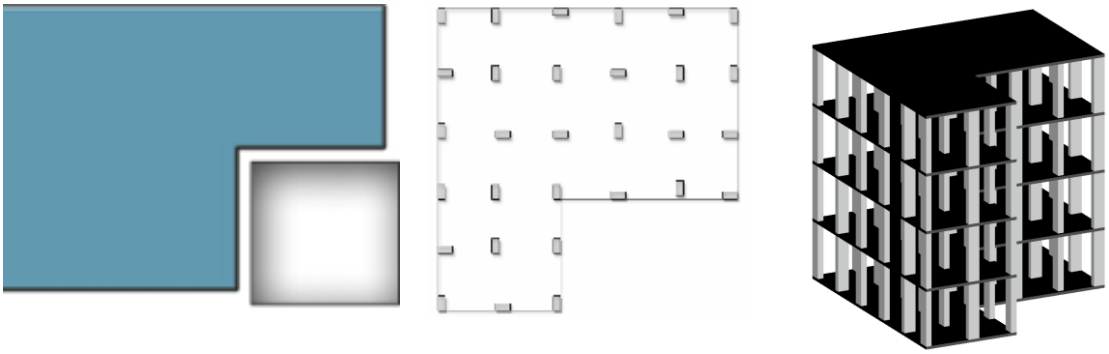
Görsel 2. AutoCAD ortamında oluşturulan düzenli plan yapısının diğer formlar dönüşmesi

Görsel 2 de planda kolonların yerleşimi yapılmış olan kare formlu yapı modeli AutoCAD ortamında sırası ile L, T, + ve U form oluşturacak şekilde düzenlenmiştir. Oluşturulan form üzerinden taşıyıcı sistemde azaltma ile diğer forma tiplerine yakın formlar elde edilmiştir. Başlangıçta taşıyıcı sistemin hem X hem de Y doğrultularında tamamen simetrik ve planda düzensizlik içermeyen kare bir yapı kat planı modeli temel alınmıştır. Bu referans model, tüm düzensiz plan formlarının üzerinde oturduğu temel taşıyıcı sistemi ve kolon/perde yerleşimini temsil etmektedir (Görsel 3). Kat planı modelin ana kütlesinden sistematik olarak taşıyıcı sistemin çıkarılması yoluyla, mevcut mimari kat planlarında sıklıkla karşılaşılan ve deprem yönetmeliği açısından kritik olan üç temel düzensiz L, T, + ve U form elde edilmiştir:



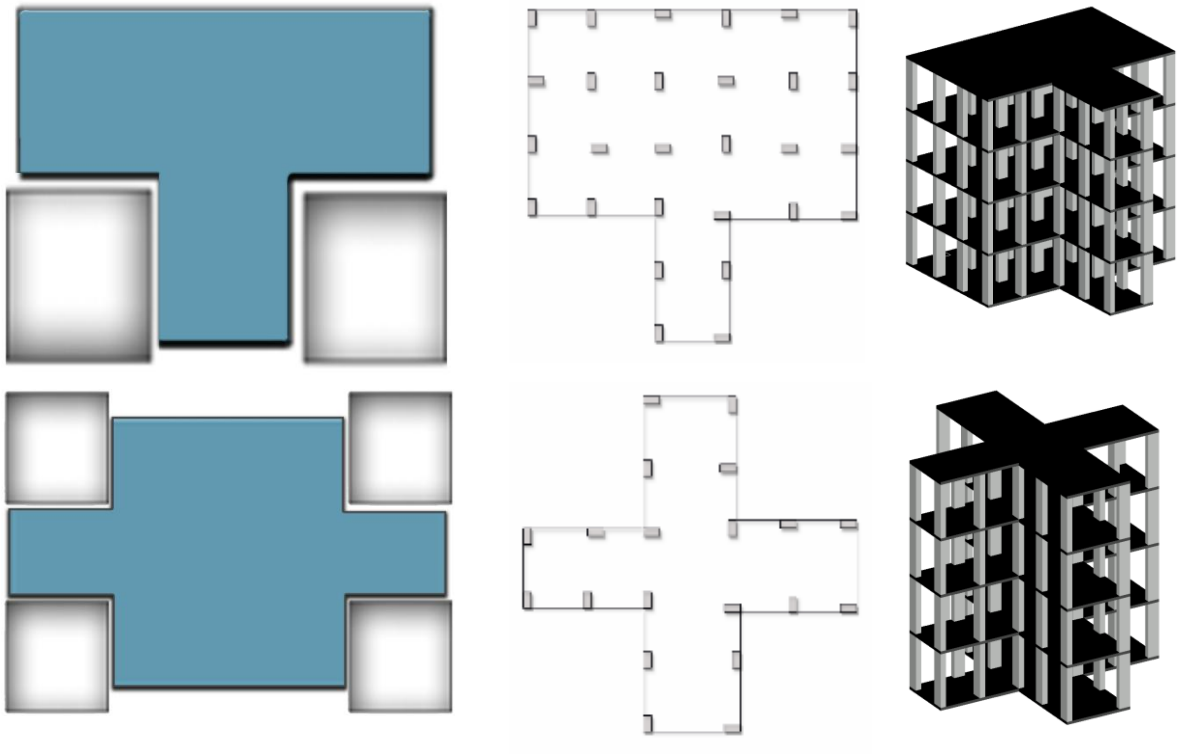
Görsel 3. AutoCAD ortamında oluşturulan referans model

L Formlu Plan: Kat planı modelinin tek bir köşesinden, simetriyi bozacak şekilde kütle çıkarılması ile elde edilmiştir. Bu L form, planda belli alanın kullanmaması ve burulma etkilerinin en belirgin olduğu tipolojilerden biridir (Görsel 4).



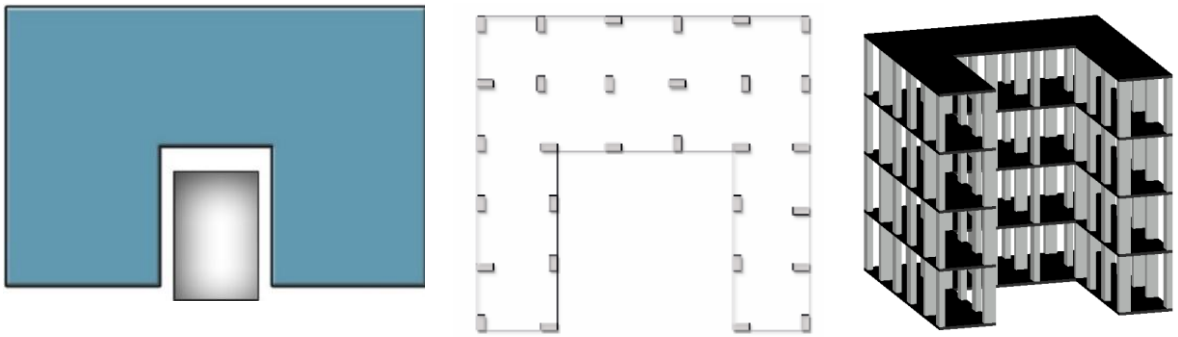
Görsel 4. AutoCAD ortamında oluşturulan L formlu model

T ve + Formlu Plan: Kat planı modelin kenar ortalarından simetriyi bozacak şekilde genellikle X ve Y ekseninden kütle çıkarılması ile oluşturulmuştur. Bu T formu ve + formu olarak da karşımıza çıkmaktadır (Görsel 5).



Görsel 5. AutoCAD ortamında oluşturulan T ve + formlu model

U Formlu Plan: kat planı modelin kenar ortasından tek bir eksende içe doğru kütle çıkarılması ile meydana getirilmiştir. Bu planlar genel olarak iç avlulu konut yapılarında görülmektedir (Görsel 6).



Görsel 6. AutoCAD ortamında oluşturulan U formlu model

Karmaşık şekiller iki önemli sorun olan burulma ve rijitlik değişimlerini beraberinde getirmektedir. Yapıdaki farklı blokların bir araya tek kütle olarak çalıştırılması ile burulma ve gerilim yoğunlaşması nedeniyle yapı özellikle girintili ve çıkıntılı köşelerdeki kritik noktalarında deprem yüklerine karşı hassas hale gelmektedir. Her iki kanat da kritik noktalarında birbirini iten ve çeken farklı hareketler sergilemektedir. Deprem kuvvetinde bu kritik noktalarda kırılmalar meydana gelmektedir. Plan geometrisinin dışında, planda rijitlik dağılımı da burulma düzensizliğine neden olur. Düzenli plan geometrisine rağmen burulma düzensizliği katsayılarında ani artışlar yaratır (Atımtay, 2000; Özmen, 2004; Charleson 2008; İnan, 2010). Örneğin, perde duvarlar veya rijit çekirdek yapının bir tarafında yer alırsa, yapıda

esnek ve rijit parçalar oluşur. Burulma düzensizliği, rijitlik ile yapının ağırlık merkezi arasındaki uzaklığın fazla olmasından kaynaklanır (Karaesmen, 2002).

2. MATERYAL YÖNTEM

Yapılan araştırmalar mevcut betonarme yapı stoğunda yer alan yapıların Deprem Yönetmeliğine uygun yapıldığını göstermektedir. Ancak mevcut yapılardan seçilen farklı plan biçimlerine sahip Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) kapsamında "A3- planda çıkıntıların bulunması" içeren yapılar üzerinden bu düzensizlik ele alınmaktadır. Bu çalışmanın amacı, mimari tasarım kararlarının deprem davranışına etkisini, hali hazırda bulunan yapılarda plan formu üzerinden tespit etmektir. Genel olarak çoğu yapıda, mimari düzensizliklerle, şu ya da bu şekilde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Taşıyıcı sistemi etkileyen mimari tasarım ele alındığı için ve forma uygun yapıların mimari kat planları çalışmanın kapsamında yer aldığı için hesap işlemlerine girilmemektedir. Kat planları planlama, tasarım ve yönetmeliğin mimari yansımaları ile gözlemsel metotla tespit edilmektedir.

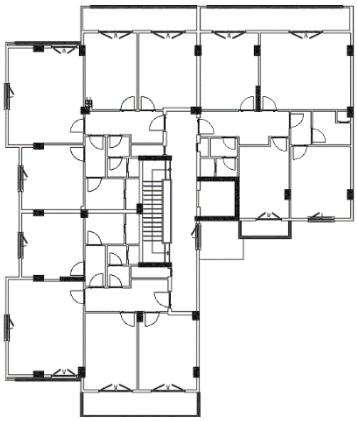
2.1. Örnek Yapıların Seçilmesi ve Gerekçesi

Çalışmada kullanılan kat planları, mevcut kentleşmenin yoğun olduğu, parsel geometrileri farklı olan ve mimari tasarımın gereklilikleri neticesinde planda düzensizliğe sahip olan yapılar seçilerek oluşturmaktadır. Bu kapsamda, literatürde planda düzensizlik açısından en yaygın kabul gören L, T ve U formlu plan geometrilerine sahip, konut ve konut ticaret kullanımlı her forma ait en az birer adet olmak üzere yapısal model incelenmektedir. Yanlış kentleşme, çevre düzenine uyulmaması, binaların bitişik nizam inşası, gereğinden fazla düzensiz ve büyük yapılması hasarları artıran etkenlerdendir (Koç, 2021). Bu bilgilerin ışığında bu çalışmada, Türkiye'de mimari olarak düzensiz plan tiplerine sahip yapıları anlayabilmek için, mevcut düzensizliklerin çeşitleri belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu plan tiplerinin seçimi, mevcut kent dokusunda cephe uzunluğunu artırma, aynı zamanda iç avlu veya ışıklık gibi yarı açık alanları tanımlama, parsele uygun imar oranını gerçekleştirme, yola göre yapının konumu gibi zorunluluklardan kaynaklanan tasarım kararlarının tipik bir yansıması olmasıyla gerekçelendirilmektedir. İncelenen örneklemin tamamı, Türkiye'deki yapı stokunun belli bir kısmını temsil eden, yüksek yapı sınıfında yer almayan ve değişen yükseklikteki betonarme sistemle inşa edilmiş yapılardan seçilmiştir.

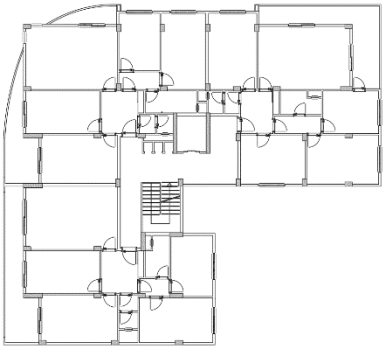
2.2. L Formlu Plan Örneği

Kentsel doku da yer alan konutlar da kat planlarında yer alan düzensizlik örneklerinden biri de L formdur. Parsel sınırları içerisinde yola göre konumlanma, iç avlu, mekanların ışık almasını sağlama gibi gerekçeleri karşılama amacıyla ortaya çıkmıştır. Kat planında yer alan üç bağımsız bölümün çözümlenmiş olması bu plan tipini beraberinde getirmektedir. Mimari tasarımda üç daireli kat planlarında çekirdeklerin daire girişlerine yakın olması L formu ile kolaylaşmaktadır. Bunun yanı sıra beş daireli çözümlemelerde L forma rastlanmaktadır (Çizelge 2).

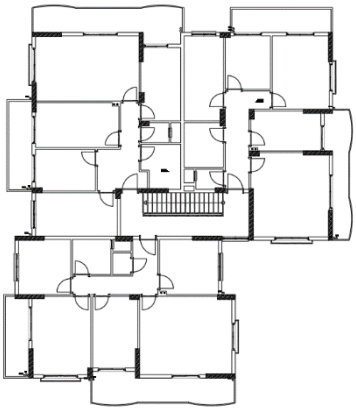
Çizelge 2. L formlu konut kat planı örnekleri



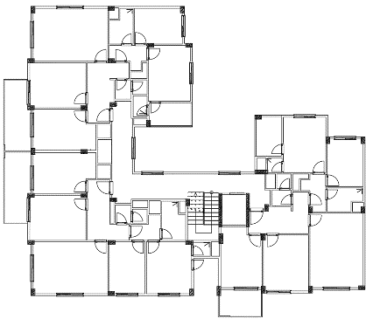
a: Asansör ve merdiveni karşılıklı tasarıma sahip üç daireli plan



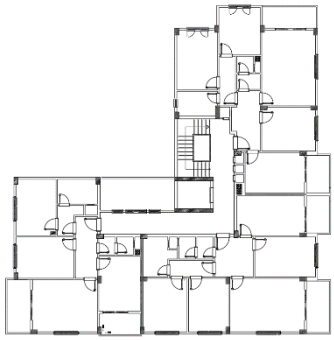
b: Asansör ve farklı merdiven karşılıklı tasarımına sahip üç daireli plan



c: Merdiven merkeze yakın üç daireli plan



d: Asansör ve merdiveni yan yana tasarıma sahip üç daireli plan



e: Asansör merdiveni yan yana tasarıma sahip beş daireli plan



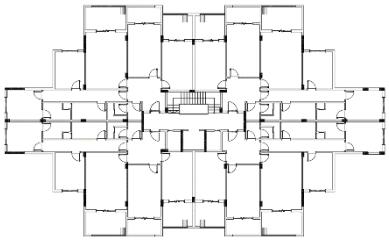
f: Asansör ve merdiveni aksları farklı tasarıma sahip beş daireli plan

Kat planları incelendiğinde dikkat çeken hususlardan biri de düşey sirkülasyonuna bağlı olarak dikey taşıyıcı sistemin asimetrik çözülmesidir. Ana merdiven ve asansör yerleri olarak ifadelendirilen çekirdek yerleri konum olarak tek merkezde çözülmesi rijit bölge oluşturmaktadır. Bu çözüm dairelere eşit eşirim kolaylığı sunmaktadır. Çekirdeklerin konumu, asimetrik yerleşimi, tasarımcının fonksiyonel verimliliği yapısal simetriye tercih ettiğini açıkça göstermektedir. Mimari tasarım, A3 plan da girinti çıkıntı düzensizliğinin oluşumundaki birincil rolünü ve yönetmeliğe uyum sürecindeki tasarım kararlarını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Plan da düzensizliğin etkilerinin mimari tasarımda sistematik olarak incelemek için kat planları dikey taşıyıcı sistem yerleşimleri ve daire sayılarına göre ele alınmaktadır.

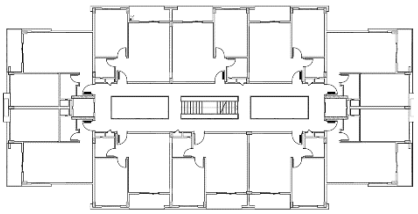
2.3. T ve + Formlu Plan Örneği

+ form plan geometrisi genel olarak dört (4) daireli kat planı tasarımlarında merkezde çekirdeğin çözülmesi ile dört ana kanadın eşit hizmet verebilmesi böylece mimari verimliliğin en üst düzeyde tutulması ile meydana gelmektedir. Bu, üç daireli L formlu planlara göre sık görülen plan tipidir. Bu çözümlerde çekirdeğin simetrik konumu sayesinde yapısal risklerin daha öngörülebilir ve yönetmelikle uyumlu hale getirilmesi kolaylaşmaktadır.

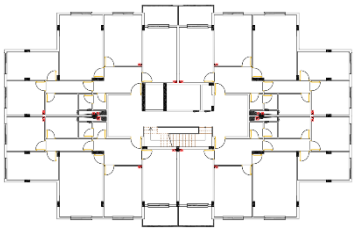
Çizelge 3. + formlu konut kat planı örnekleri



a: Asansör ve merdiveni karşılıklı tasarıma sahip dört daireli plan



b: Asansör ve farklı merdiveni karşılıklı tasarımına sahip on daireli plan

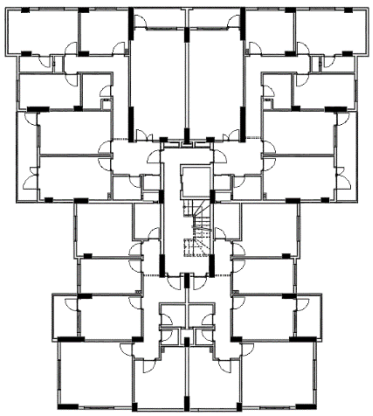


c: Asansör ve merdiven karşılıklı tasarımına sahip dört daireli plan

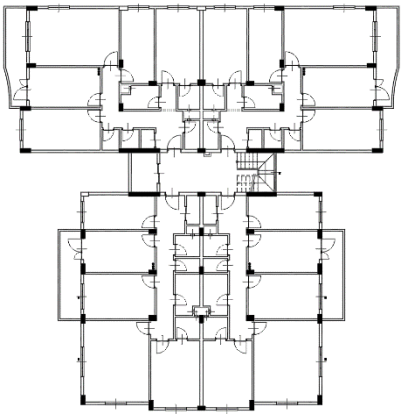
+ formlu kat planları kare form sahip bir kütlede mekanların geri çekilmesi veya içe doğru nişler oluşturulması yoluyla oluşturulmaktadır (Çizelge 3). Bu planlarda düşey sirkülasyonu sağlayan çekirdeği (merdiven ve asansör), tipik olarak planın tam ortasında çözülmektedir. Bu merkezi çekirdek çözümü, dört daireye de eşit ve kısa erişim sağlama gibi mimari avantajlar sağlamaktadır. Ancak yapı bir bütün olarak değerlendirildiğinde deprem yönetmeliğinde yer alan durum oluşmaktadır.

T formlu kat planları incelendiğinde bu planlar da farklı bir simetri ve rijitlik bulunmaktadır. Bu form x ve y doğrultusundaki boyut farklı sebebi ile kütle ve rijitlik merkezinin çakıştırılmasını zorlaştırmaktadır. Dört dairenin çözümlenmesi, fonksiyonel verimlilik sağlasa da formdan kaynaklanan asimetri, yapısal davranışta A3 Düzensizliği riskini oluşturmaktadır (Çizelge 4).

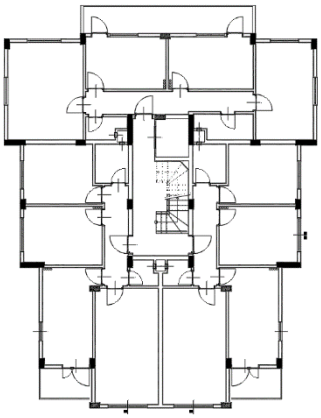
Çizelge 4. T formlu konut kat planı örnekleri



a: Asansör ve merdiveni yan yana tasarıma sahip dört daireli plan



b: Asansör merdiveni yan yana tasarıma sahip beş daireli plan



c: Asansör ve merdiveni aksları farklı tasarıma sahip üç daireli plan

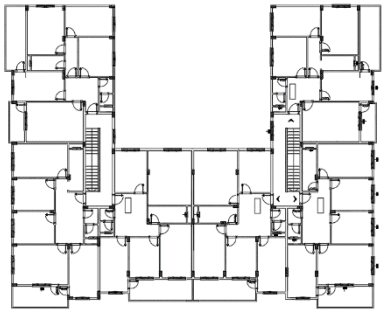
Bu plan tipinde, düşey sirkülasyon elemanlarını oluşturan çekirdek (merdiven ve asansör) kütlesi, genel olarak yapının geometrik merkezine yakın bir konumda çözümlenmektedir. Bu yerleşim biçimi, iç mekân organizasyonu ve hol sürekliliği açısından fonksiyonel bir avantaj sağlamaktadır. Ancak, yapısal açıdan en kritik değerlendirme, rijit çekirdek elemanlarının dış cepheye olan mesafesi bağlamında ortaya çıkmaktadır. Çekirdek ve taşıyıcı perde duvarların dış cepheye yakın konumlandırılması, özellikle asimetrik plan kollarında veya düzensiz kanat uçlarında, deprem etkisi altında kütlenin dönme (burulma) davranışını artırma potansiyeline sahiptir. Bu durum, rijitlik merkezinin kütle merkezinden uzaklaşmasına yol açarak, yapıda

burulma momentlerinin büyümesine ve dolayısıyla yatay ötelenmelerin düzensiz dağılımına neden olabilmektedir. Mimari açıdan bu çözüm, mekânsal bütünlüğü desteklese de yapısal anlamda burulma düzensizliğini riski dikkatli biçimde değerlendirilmelidir.

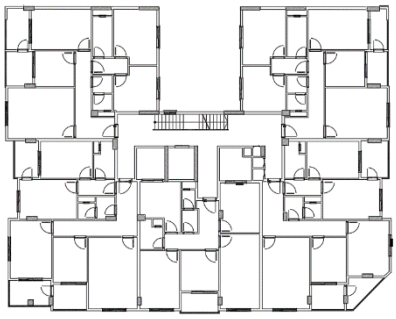
2.4. U Formlu Plan Örneği

İncelen U formlu plan tiplerine okul kat planlarında sıklıkla rastlanılsa da konut kat planlarında kullanılmaktadır. Plan şeması yoğunluğun fazla olduğu yerleşimlerde katta bulunan daire sayısının fazla olmasından tercih edilmektedir. Bu form yapının merkezinde piyeslerin doğal ışık alması ve havalandırması için oluşturulmuştur. U biçimi kütlenin merkezine bağlanan iki yan koldan oluşur (Çizelge 5). Cephe kullanımını artırmak için oluşturulan formda taşıyıcı sistem elemanlarının özellikle perde duvar ve kolonların asimetrik yerleşimini zorlamaktadır.

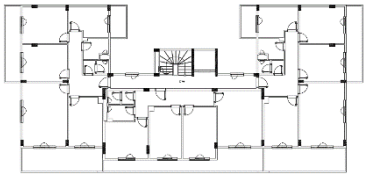
Çizelge 5. U formlu konut kat planı örnekleri



a: Asansör ve merdiveni yan yana tasarıma sahip üç daireli plan



b: Asansör merdiveni yan yana tasarıma sahip beş daireli plan



c: Asansör ve merdiveni aksları farklı tasarıma sahip beş daireli plan

U plan tipine sahip yapılarda düşey sirkülasyon sağlayan çekirdek (merdiven ve asansör bloğu), çoğunlukla planın gövde kısmında veya iki kanadın birleştiği merkez aksa yakın konumlandırılmaktadır. Bu çözümleme, fonksiyonel olarak holün dairelere ulaşımını kolaylaştırmakta ve kanatlarda dairelere dengeli erişim sağlamaktadır. Ancak, çekirdeğin rijit bir kütle olarak dış cepheye veya planın açık yönüne yakın yerleşmesi durumunda, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki mesafe artmakta ve bu durum yapının burulma davranışını olumsuz etkilemektedir.

Mimari bakış açısı ile ele alındığında U plan tipi iç avluya bakan cephelerde doğal ışık, havalandırma ve görsel bütünlük sağlamaktadır. Bu mimari yaklaşım, taşıyıcı sistem sürekliliğini zayıflatmakta ve plan da çıkıntı–girinti oranının artmasıyla yapısal açıdan düzensizliği beraberinde getirmektedir. U biçimli plan tipolojilerinde mimari fonksiyonellik ile yapısal kararlılık arasında belirgin bir çelişki bulunmaktadır. Bu çelişkinin giderilmesi, mimari tasarım sürecinde rijitlik merkezinin kütle merkezine olabildiğince yaklaştırılması, çekirdek elemanlarının simetrik biçimde konumlandırılması ve gerektiğinde dilatasyon derzleri veya yüksek rijitlikte perde duvar sistemleri ile yapının burulma davranışının denetlenmesiyle mümkün olmaktadır. Bu plan tipinin uygulanabilirliği, yalnızca mimari estetik veya kullanım kolaylığı ile değil, aynı zamanda deprem performansı ve yapısal denge kriterleri doğrultusunda bütüncül biçimde değerlendirilmelidir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

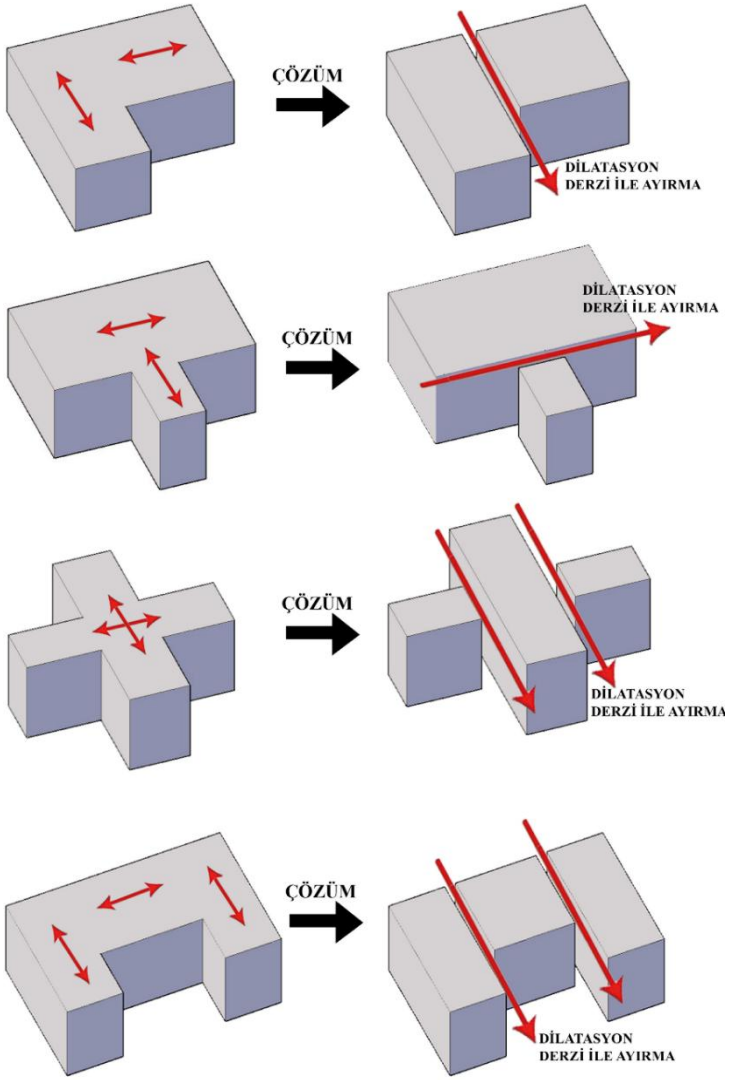
Mimari tasarım kararlarının düzensizlik oluşturma sebepleri ele alındığında şu başlıklar halinde toplanabilir:

- Parsel İmar Durumu ve Maksimum Yoğunluk: Mimari tasarım parselin imar durumunu maksimum kullanmayı hedefler. Mimari tasarımın gerektirdiği maksimum metre kare kullanımı ve daire sayısını artırma kaygısı emsal (yoğunluk) değerlerini en verimli biçimde kullanmaya yönlendirmektedir. Kullanım alanını sınırlı bir parsel içinde çözme zorunluluğu, kütle formunun sınır çizgilerine kadar genişlemesine neden olmaktadır. Özellikle L ve U formlu plan kurguları, parselin köşe ve kenar hatlarını izleyerek hem taban alanını maksimize etmekte hem de cephe uzunluğunu artırarak konut birimlerinin dış mekâna açılımını çoğaltmaktadır. Bu durum, yoğunluk açısından avantaj sağlasa da rijitlik ve kütle sürekliliğini bozarak plan da düzensizlik riskini artırmaktadır.
- Cephe Yönelimi ve Manzara Odaklı Kütle Organizasyonu: Mimari tasarımda, yaşam alanlarının görsel kalite, manzara ve yönlenme açısından en uygun cepheye yerleştirilmesi temel bir tasarım kriteridir. Ancak, düzgün dikdörtgen kütlelerin cephe boyları ve yönelmeleri farklılıklarını yeterince karşılayamamaktadır. Bu nedenle, L, T ve U formlu kütle çözümleri, binanın farklı yönlere açılmasını ve daha fazla birimin tercih edilen yola manzaraya yönelmesini olanaklı kılar. Böylece yaşam konforu ve mekânsal çeşitlilik artarken, yapısal sistemde asimetrik kütle dağılımı ortaya çıkmakta, bu da burulma düzensizliği riskini beraberinde getirmektedir.
- Doğal Aydınlatma ve Havalandırma Gereksinimleri: İmar yönetmelikleri, tüm yaşanabilir mekânların yeterli doğal aydınlatma ve havalandırma almasını zorunlu kılmaktadır. Bu gereklilik, tasarımcının kare ya da dikdörtgen kütleyi parçalayarak veya eksilterek ışık alma yüzeylerini artırmasına yol açmaktadır. U formlarında iç avlular, L ve T formlarında ise kütle eksiltmeleri mekânların iki veya daha fazla cepheyle ilişki kurmasını sağlar. Ancak taşıyıcı sistemin sürekliliğini bozarak, rijitlik merkezinin kütle merkezinden uzaklaşmasına neden olmaktadır.
- Komşu Parsellere Uyum ve Kent Dokusu: Kentsel doku içinde yer alan yapılar, komşu parsellerin yapılaşma biçimi, çekme mesafeleri ve silüet uyumu gibi çevresel parametrelerle doğrudan ilişkilidir. Mimari formun yer yer geri çekilmesine veya nişler oluşturmasına neden olmaktadır. Bu durumda tasarımcı, zorunlu çekmeleri planda çıkıntı veya girinti olarak kütleye entegre eder. Sonuç olarak, mimari esneklik sağlanırken plan geometrisinde süreksizlikler oluşur ve bu durum yapının deprem davranışında düzensizliklerini getirmektedir.
- Fonksiyonel Ayrım ve İç Avlu Organizasyonu: Karma kullanımlı yapılarda (örneğin zemin kat ticaret + üst kat konut), farklı işlevleri kütle içinde mekânsal olarak ayırma ihtiyacı, planın parçalı bir karakter kazanmasına neden olmaktadır. Özellikle U ve H formlu planlarda, iç avlular veya yarı açık alanlar aracılığıyla fonksiyonlar arasında doğal bir geçiş ortamı oluşturulmaktadır. Bu avlular, hem ışık ve hava sirkülasyonunu artırmakta, hem de kullanıcı deneyimini zenginleştiren mekânsal boşluklar tanımlamaktadır. Ancak bu tür boşluklar, kütle rijitliğini azaltarak yapısal bütünlük açısından risk oluşturabilir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sağlıklı bir taşıyıcı sistem tasarımı için binalarda:

- ✓ Deprem yüklerinin yapıya dengeli biçimde aktarılabilmesi için bina planının basit, simetrik ve sürekli olması esastır. Plan da girinti ve çıkıntılar minimum düzeyde tutulmalı, zorunlu düzensizlikler ise uygun dilatasyon derzleriyle birbirinden bağımsız bloklara ayrılmalıdır (Görsel 7). Bu yaklaşım, burulma etkilerini sınırlandırarak her bloğun deprem anında daha kararlı davranmasını sağlar.
- ✓ Yapının deprem performansını korumak katlar arası göreceli yatay yer değiştirmelerin yönetmelik sınırları içinde kalması gereklidir. Bu durum, taşıyıcı sistemin yeterli rijitliğe sahip olmasıyla mümkündür. Mimari açıdan, perde duvarların dengeli yerleşimi ve taşıyıcı eleman kesitlerinin yeterli boyutlandırılması, rijitliği sağlamaktadır.
- ✓ Depreme dayanıklı tasarımda, rijitlik merkezi ile kütle merkezinin plan düzleminde çakışması veya birbirine yakın konumlanması büyük önem taşır. Bu iki merkezin uzaklığı, yapıda burulma momenti oluşturarak özellikle zayıf kanatlarda hasar riskini artırır. L, T ve U formlu planlarda bu dengenin sağlanması, çekirdek ve perde yerleşimlerinin dengeli biçimde planlanmasıyla mümkündür.
- ✓ Yapısal ve mimari açıdan gereksiz düzensizliklerden kaçınmak, deprem güvenliği ve ekonomik tasarım açısından temel bir yaklaşımdır. Plan ve düşey yöndeki düzensizlikler, burulma ve zayıf kat oluşumuna neden olarak hem analiz zorluklarını hem de maliyeti artırır. Bu nedenle, mümkün olan her durumda simetrik, sürekliliği yüksek ve taşıyıcı bütünlüğü korunmuş plan çözümleri tercih edilmelidir.



Görsel 7. Dilatasyon dersi ile ayırma

Büyük bir bölümü deprem tehlikesine maruz ülkemizde, olası depremlerde hasar ve kayıpların önlenmesi ya da azaltılabilmesi için yeni yapılacak binaların deprem davranışının öngörülebilir olması amacıyla taşıyıcı sistemlerinin uygun düzenlenmesi ve yapı stokunun genelini oluşturan betonarme binaların deprem etkisi altında yapısal davranışının anlaşılması büyük önem taşımaktadır. Yanlış kentleşme, çevre düzenine uyulmaması, binaların bitişik nizam inşası, gereğinden fazla düzensiz ve büyük yapılması, hasarları artıran etkenlerdendir. Yıkıcılık etkisi en büyük olan sığ deprem çeşidi, ülkemizde en fazla görülen deprem türüdür. Dolayısıyla ülkemizde düzensiz tasarımlardan kaçınmak mantıklı olacaktır. Bu bilgilerin ışığında bu çalışmada, Türkiye'de mimari olarak düzensiz binalara eğilimin ne oranda olduğunu küçük çaplı bir araştırma ile ve belli hatlarıyla anlayabilmek için, belirlenmeye çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Akansel, V. H., ve Özkula, G. (2021). The 30 October 2020, Mw 6.6 Sisam (Samos) Earthquake: Interpretation of Strong Ground Motions and Post-Earthquake Condition of Nearby Structures. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, *4*(2), 66-89.

2. Alecci, V., De Stefano, M. (2019). Building irregularity issues and architectural design in seismic areas. Frattura e Integrità Strutturale, 13, 161-168.

3. Arı, A. C., ve Korkmaz, S. Z. (2020). Criteria Affecting strengthening of structures and a critical discussion regarding the role of current technologies in determining the damages caused by earthquakes. International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR), 7(60), 2843-2859.

4. Bedirhanoğlu, İdris ve Önal, Tansel (2011). 23 Ekim 2011 Van Depremi Ön Değerlendirme Raporu. İMO Diyarbakır Şubesi, Kasım, Diyarbakır.

5. Çetin, K. O., Mylonakis, G., Sextos, A., ve Stewart, J. P. (2021). Reconnaissance of 2020 M 7.0 Samos Island (Aegean Sea) earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-6.

6. Doğangün, A., Ural, A., Sezen, H., Güney, Y., ve Fırat, F. K. (2013). The 2011 earthquake in Simav, Turkey and seismic damage to reinforced concrete buildings. Buildings, 3(1), 173.

7. Gökçeoğlu, C., Şahmaran, M., Unutmaz, B., Aldemir, A., Koçkar, M. K., Sandıkkaya, A., ve İçen, A. (2020). 24 Ocak 2020 Elazığ Sivrice depremi (Mw= 6.8) Ön inceleme

raporu. *Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara*, *44*.

8. Güner, B. (2020). Türkiye'deki deprem hasarlarina dönemsel bir yaklaşim; 3 dönem 3 deprem. *Doğu Coğrafya Dergisi*, *25*(43), 139-152.

9. İdemen, A. E. (2003). Bina Ağırlık Merkezi-Rijitlik Merkezi İlişkisini Mimari Tasarım Aşamasında Kuran Bir Uzman Sistem. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

10. İnan, T., Korkmaz, K., ve Çağatay, İ. H. (2014). The effect of architectural form on the earthquake behavior of symmetric RC frame systems. *Computers and Concrete, Vol. 13, No. 2 (2014) 271-290.*

11. İnan, T., Korkmaz, K. (2011). Evaluation of structural irregularities based on architectural design considerations in Turkey. *Structural Survey*, *29*(4), 303-319.
12. İnel, M.; Özmen, H.B.; Akyol, E.; Çaycı, B.T. (2011). 19 Mayıs 2011 Kütahya Simav Depremi ve Artçı Sarsıntıları İnceleme Raporu. İMO Denizli Şubesi: Denizli, Türkiye.

13. Korkmaz, S. Z. (2019). Seismic design considerations for architectural design aspects. ICONARP International Journal of Architecture and Planning, 7(2), 568-591.

14. Koç, V. (2021). Mevcut binalarda taşıyıcı sistem düzensizliklerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (33), 32-39.

15. Özmen, G., 2004, Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği, İMO Teknik Dergi, İstanbul.

16. Türkoğulları, B. (2023). Mimari tasarımın betonarme binaların yapısal özelliklerine ve deprem davranışına etkilerinin incelenmesi: L tipi binalar, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye.

TEMSİL ARACI OLARAK MİMARİ FOTOĞRAF

Y. Mimar Funda KELEŞ
Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
keles.funda2000@gmail.com - ORCID ID: 0009-0002-0504-0135

Doç. Dr. Beyza ONUR
Karabük Üniversitesi, Safranbolu Başak Cengiz Mimarlık Fakültesi
beyzaonur@karabuk.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8246-9571

ÖZET

Mimari fotoğraf, yapıların biçimsel ve mekânsal özelliklerini görsel olarak aktarma kapasitesi sayesinde mimarlık pratiğinde önemli bir temsil aracıdır. Fotoğraf, yalnızca bir yapının fiziksel görünümünü belgelemekle kalmaz; aynı zamanda mekânın ışık, doku, ölçek ve atmosfer gibi niteliklerini de izleyiciye iletir. Bu yönüyle mimari fotoğraf, tasarım sürecinde fikirlerin geliştirilmesine, mekân algısının sınanmasına ve projelerin görselleştirilmesine hizmet eder. Fotoğrafın çerçeveleme, perspektif ve kompozisyon gibi teknikleri, mekânın karakterini ve yapının anlatmak istediği mesajı etkili bir biçimde ortaya koyar. Modern mimarlık pratiğinde fotoğraf, izleyiciye mekân deneyimini aktarırken, yapının estetik ve işlevsel değerlerini de vurgular. Aynı zamanda mimari fotoğraf, yapıların toplumsal ve kültürel bağlamını kavramada da bir araç olarak kullanılır. Bu bağlamda, mimari fotoğraf sadece bir belgeleme yöntemi olmanın ötesine geçer ve mimarlığın görsel dilini güçlendiren, mekân ve tasarım anlayışını izleyiciye aktaran etkili bir temsil aracı olarak işlev görür.

Anahtar Kelimeler: Fotoğraf, mimari fotoğraf, temsil, fotografik temsil

1. GİRİŞ: MİMARİ FOTOĞRAF

Fotoğraf kavramı bilimsel literatürde ilk kez 1839 yılında İngiliz bilim insanı Sir John F. W. Herschel (1792–1871) tarafından ortaya atılmıştır. Ancak bu kavramda sözü edilen "çizim", geleneksel anlamda bir sanatçının el emeğiyle ürettiği tasvirden farklı olarak, nesnenin doğal ya da yapay ışık aracılığıyla bir yüzey üzerinde bıraktığı iz sayesinde oluşan bir görüntüyü ifade eder. Bu nedenle fotoğraf, fiziksel gerçekliğin doğrudan bir yansıması olarak değerlendirilir ve bu yönü, onu diğer sanatsal üretim biçimlerinden ayıran temel niteliğini oluşturur. Klasik sanatlarda sanatçı, nesneyi, duyguyu ya da düşünceyi öznel bir biçimde yeniden üretirken; fotoğrafta görüntü, var olanın kendisinin izidir. Bu bağlamda, fotoğrafın ortaya koyduğu imge, sanatçının zihinsel yorumundan ziyade, gerçekliğin kendisini taşıyan bir "ikincil temsil" olarak görülebilir. Dolayısıyla fotoğraf, yalnızca bir görsel temsil aracı değil, aynı zamanda varlığın görsel kanıtı olarak da anlam kazanır (Yıldırım, 2009).

Mimarlık ile fotoğraf, modernleşme döneminden itibaren sürekli bir etkileşim içinde olmuş; birbirlerinin üretim süreçlerini karşılıklı olarak etkileyen ve dönüştüren iki disiplin olarak gelişim göstermiştir. 19. yüzyılda fotoğrafın icadıyla birlikte mimarlık, yalnızca yapıların inşası ve mekânsal deneyimiyle sınırlı bir alan olmaktan çıkmış; fotoğraf sayesinde belgelenebilir, arşivlenebilir ve yeniden temsil edilebilir bir nitelik kazanmıştır. Jonathan Crary'nin (1992) vurguladığı gibi, fotoğraf yalnızca bir görüntü kaydetme aracı değil, aynı zamanda modern öznenin görme biçimlerini kökten değiştiren bir teknolojidir. Görsel algıdaki bu dönüşüm, mimarlığın hem temsil edilme hem de algılanma biçimlerini derinden etkilemiş; yapının deneyimlenmesinde fotoğrafın aracı rolü belirleyici hale gelmiştir.

Fotoğrafın tarihsel gelişimi sürecinde, mimarlık disipliniyle kurduğu etkileşim de paralel bir biçimde biçimlenmiştir. Fotoğrafın ortaya çıkışı, yalnızca yeni bir görsel ifade aracı sunmakla kalmamış; aynı zamanda mimari mekânların belgelenmesi, temsil edilmesi ve arşivlenmesi açısından köklü bir dönüşüm yaratmıştır. Mimarlık ve fotoğraf, her ikisi de ait oldukları dönemin kültürel, siyasal, teknolojik ve estetik özelliklerini yansıtan üretim biçimleri olarak ortak bir tarihsel bağlamda buluşurlar. Mimari yapılar, maddi kalıcılıkları sayesinde dönemin ruhunu somut mekânlarda yaşatırken; fotoğraf, bu mekânları belirli bir zaman diliminde dondurarak geçmişe dair görsel bir hafıza oluşturur. Bu doğrultuda, fotoğrafın mimariyi iki boyutlu bir yüzeye aktarabilme yetisi, onu yalnızca estetik bir temsil aracı olmaktan çıkarıp analitik ve belgesel bir nitelik kazandırmıştır. Nitekim Niépce ve Daguerre'in erken dönem çalışmalarında mimari ögelerin yer alması, bu iki alan arasındaki ilişkinin başlangıçtan itibaren var olduğuna işaret eder (Ercanlı, 2015).

Diğer bir bakış açısına göre ise mimarlık ile fotoğraf arasındaki ilişki, rastlantısal değil, teknolojik koşullardan doğan zorunlu bir bağdır. Fotoğrafın ilk dönemlerinde kullanılan düşük duyarlılıktaki filmler, hareketli nesnelerin görüntülenmesini güçleştirmiş; bu durum, fotoğrafik üretimlerde durağan ve mekânsal ögelerin öne çıkmasına yol açmıştır. Dolayısıyla, fotoğrafın başlangıcından itibaren mimariyle kurduğu ilişki, teknik sınırlamaların belirlediği doğal bir zorunluluk olarak şekillenmiştir (Higgott & Wray, 2012; Bozkurt, 2019).

2. TEMSİL VE MİMARİ FOTOĞRAF

Temsil kavramı, uzun süredir sosyal bilimlerin ve sanat kuramlarının merkezinde yer alan temel bir tartışma alanıdır. Stuart Hall (1997), temsilin yalnızca gerçeği yansıtan pasif bir süreç olmadığını; aksine, anlamın üretildiği ve dolaşıma girdiği dinamik bir mekanizma olduğunu ileri sürer. Mimarlık bağlamında temsil, yapının inşa edilmeden önceki tasarım çizimlerinden maketlerine, fotoğraflarına ve dijital modellere kadar uzanan geniş bir ifade alanında ortaya çıkar. Robin Evans (2000) ise mimarlığın, gerçekliğini her zaman belirli "temsil araçları" aracılığıyla kurduğunu dile getirir. Bu çerçevede mimari fotoğraf, yalnızca fiziksel yapının görsel kaydı olmanın ötesinde, yapının zihinsel ve kavramsal düzeyde yeniden inşasını mümkün kılan güçlü bir temsil biçimi olarak değerlendirilebilir.

Mimari fotoğrafın temsili niteliği, yalnızca mekânın görsel özelliklerini aktarmakla sınırlı değildir; aynı zamanda o mekânın bireyde uyandırdığı duygusal deneyimi, mimarın tasarım anlayışını ve yapının tarihsel-kültürel bağlamını da izleyiciye iletmeyi amaçlar. Bununla birlikte, fotoğrafın temsil sayılıp sayılamayacağı konusu tarih boyunca farklı düşünürler tarafından tartışılmıştır. Roland Barthes (1981), fotoğrafın her zaman bir "gösterge" olarak işlediğini ve gerçeklikle kurduğu ilişkinin mutlak olmadığını savunur. Bu kuramsal yaklaşımlar, mimari fotoğrafın hangi koşullar altında temsil olarak değerlendirilebileceği sorusunu yeniden gündeme getirmektedir.

Temsil kavramı, Klasik Alman Felsefesi'nin önemli düşünürlerinden Immanuel Kant tarafından kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Kant, temsili iki temel düzeyde inceler: duyusal (sezgisel, nesneye dayalı ve maddi) ve entelektüel (kavramsal, zihinsel ve soyut). Duyusal temsil, nesnelerin görünür biçimlerini yansıtırken; entelektüel temsil, bu nesnelerin özsel ve kavramsal yönlerine odaklanır. Kant ayrıca bu iki bilgi türünü "sensitive" (duyusal) ve "symbolic" (sembolik) kategorileri altında sınıflandırır. Bu yaklaşım, temsilin yalnızca dış dünyanın zihinde oluşan bir kopyası olmadığını; aynı zamanda gerçekliği anlamlandıran, yeniden kuran ve bilinçte dönüştüren bir süreç olduğunu gösterir (Sukla, 2001; Orhan, 2011).

Temsil, bir nesnenin farklı bir bakış açısıyla yeniden yorumlanması ve bu yolla başkalarınca anlaşılabilir hale getirilmesi sürecidir. Bu bağlamda temsil, nesnenin anlam düzeyinde yeniden kurgulanmasını ve algısal olarak yeniden inşasını ifade eder (Ercanlı, 2015). İnsan zihninin ürünü olan temsiller, doğaları gereği yoruma açık, değişken ve sorgulanabilir yapılardır. Çünkü temsilleri üreten de, onlara anlam kazandıran da insandır. Bu nedenle bir temsili bütüncül biçimde kavrayabilmek, yalnızca onun türünü belirlemekle sınırlı değildir; aynı zamanda temsilin üretildiği tarihsel, kültürel ve toplumsal bağlamın da dikkate alınmasını gerektirir (Sönmez, 2022).

İletişim açısından bakıldığında temsil, bireylerin düşünce ve algılarını başkalarına aktarma biçimlerinden biridir. Bununla birlikte temsil, belirli bir kültürel bağlam içinde hangi anlamların üretildiğini ve zaman içerisinde nasıl dönüşüme uğradığını ortaya koyan bir kavramsal çerçeve sunar. Toplumların yaşadığı tarihsel, siyasal, ekonomik ve kültürel değişimler, temsil biçimlerini de dönüştürmüştür. Temsil, bu yönüyle işaretler ve imgeler aracılığıyla kurulan bir anlamlandırma sistemi olarak düşünülebilir (Hall, 1997; Ercanlı, 2015).

Fotoğrafik temsil açısından dikkat çeken bir nokta ise, Walton'un da Scruton gibi temsilin temelini "nedensel bağ" kavramı üzerinden açıklamasıdır. Ancak Walton, bu nedensel ilişkiyi temsili dışlayan değil, bizzat bir temsil biçimini oluşturan unsur olarak görür. Scruton, fotoğrafın nesneyle kurduğu doğrudan ilişki nedeniyle onun temsil niteliği taşıyamayacağını öne sürerken; Walton, bu bağın hem fotoğrafta hem resimde var olduğunu ve sanatın gerçekliği yakalama amacının bu ortak temele dayandığını savunur (Walton, 1990; Orhan, 2011).

2.1 Mimari Fotoğrafın Temsil Özelliği

Fotoğrafçılar, fotoğraf makinesinin yalnızca bir çoğaltım aracı mı yoksa bireysel yaratıcılığı ifade eden bir mecra mı olduğu konusunda uzun süredir tartışmalar yürütmüşlerdir. Bu tartışmalar, fotoğrafın sanat statüsüne dair iki temel yaklaşımın ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bir tarafta, fotoğrafı bağımsız bir sanat formu olarak gören görüş, teknik süreçlere dayansa da fotoğrafçının estetik kararları, özne-nesne ilişkisi ve kadraj seçimi aracılığıyla yaratıcı bir rol üstlendiğini savunur. Öte yandan, fotoğrafın yalnızca mekanik bir çoğaltım işlemi olduğunu savunan karşıt görüş, sanatsal niteliğini sorgulayarak özgünlükten yoksun olduğunu ileri sürmüştür (Freund, 2007; Ayten, 2008).

Gisèle Freund'e göre (2007), fotoğraf, bilimsel ilerlemeler ile yeni sanatsal ifade biçimlerine duyulan ihtiyacın kesişiminde ortaya çıkmıştır. Bu çok boyutlu doğa, fotoğrafın yalnızca teknik bir araç mı yoksa yaratıcı bir ifade biçimi mi olduğu tartışmalarını da beraberinde getirmiştir. Doğuşundan itibaren fotoğraf, kuramsal ve estetik bağlamlarda yoğun biçimde tartışılmış ve sanat dünyasındaki konumunu belirleme çabası farklı bakış açılarını görünür kılmıştır (Freund, 2007; Ayten, 2008).

Freund'a göre, özellikle 1848 devrimi sonrasında ortaya çıkan toplumsal değişimler, fotoğrafın sanat çevrelerinde ilgi görmesini kolaylaştırmıştır. Bu dönemde fotoğraf, sadece bir görüntü üretim aracı değil, aynı zamanda dönemin sosyo-politik koşullarına yanıt veren bir ifade biçimi olarak değerlendirilmiştir. Sanatsal üretim ile toplumsal dinamiklerin etkileşimi, fotoğrafın estetik olduğu kadar ideolojik anlamlar da taşımasına olanak sağlamıştır. Freund, fotoğrafı demokratikleşme aracı olarak ele almasıyla bu bakış açısını ön plana çıkarmaktadır (Ayten, 2008).

Freund'a göre (2007), fotoğraf başlangıçta "mütevazı bir kendini ifade etme aracı" olarak ortaya çıkmış, kısa sürede ise yaygınlaşarak farklı alanlara yayılan ve hızla büyüyen bir endüstriye dönüşmüştür. Sanat eserlerini geniş kitlelere ulaştırma kapasitesi, estetik deneyimlerin demokratikleşmesine katkıda bulunmuştur. Bu çerçevede fotoğraf, yalnızca teknik bir araç veya sanatsal üretim biçimi olmanın ötesinde, toplumsal eşitlik ve temsil alanında dönüştürücü bir potansiyele sahip bir olgu olarak değerlendirilir (Ayten, 2008).

Susan Sontag'a göre (2008), fotoğrafın temsil niteliği, diğer fotoğraf teorisyenleri gibi, gerçeklikle olan ilişkisi temelinde değerlendirilmelidir. Sontag, fotoğrafın gerçekliği yansıtma kapasitesi ve temsil işlevini şu şekilde ele alır: "*Sanatın tüm modern biçimleri, gerçeklikle kendilerine özgü bir ilişki kurar; ancak bu iddia, fotoğraf söz konusu olduğunda özellikle belirgindir. Fotoğraf, gerçekliği doğrudan yansıtma yeteneği sayesinde diğer sanat formlarından ayrılır. Bir görüntü, gerçek bir şeye benzediği sürece hakiki sayılır; ancak bu*

benzerliğin ötesinde farklı bir şeyi temsil etmeye çalışırsa, kurguya dönüşür. Fotoğraf, yalnızca bir anı veya kesiti yansıttığı için taşıdığı ahlaki ve duygusal anlam, bağlama göre şekillenir. Dolayısıyla bir fotoğrafın gerçeklik değeri ve etkisi, hem temsil ettiği nesneye hem de sunulduğu bağlama bağlı olarak değişir."

Sontag'a göre (2008), fotoğraf bağlamında temsil kavramı, kadrajda hangi öğelerin dâhil edileceği kararlarında kendini gösterir; çünkü dünyadaki tüm olayların fotoğrafla aktarılması mümkün değildir. Fotoğraf, gerçekliğin bir kesitini sunar ve bu kesit, olayın kendisini temsil etme işlevi görür (Hasçiftçi, 2019).

Jean Baudrillard ise fotoğrafın kurgusal bir niteliğe sahip olduğunu savunur, ancak bu kurguda fotoğrafı üreten özne ve deklanşörü kullanan kişinin rolünü tamamen göz ardı etmez. Ona göre fotoğraf, salt bir imge olmanın ötesinde, nesnelerin yeniden kurgusal bir biçimde sunulmasıdır. Baudrillard, fotoğrafın doğasını şöyle açıklar: "Fotoğraf, nesnelerin görüntüsünün kurgusudur; çünkü imge değil, kurgunun kendisidir. Temsil olgusu, gerçeklikle karşılıklı ilişki içindedir. Temsil ve gerçeklik birlikte varlıklarını sürdürür; ancak görüntü, temsilin eksikliği üzerinden anlam kazanır. Bu süreçte yalnızca özne değil, dünyanın kendisi de etkin bir rol oynar." (Baudrillard, 1999; Alptürk, 2007; Ayten, 2008).

Roger Scruton ise Fotoğraf ve Temsil adlı eserinde, fotoğrafın temsil yeteneğine sahip olmadığını ileri sürer. Scruton, fotoğrafı "ideal fotoğraf" kavramı üzerinden değerlendirir ve bunu şöyle tanımlar: "İdeal fotoğraf, nesnesiyle nedensel bir ilişki kurar ve nesnesinin görünüşünü yeniden üreterek temsil eder. Bir nesneyi ideal fotoğraf olarak ele aldığımızda, bu nedensel sürecin, temsil edilen nesnede ortaya çıkan bir görünümün kopyası olarak ortaya çıktığını gözlemleriz." (Scruton, 1981).

3. TEMSİL ARACI OLARAK MİMARİ FOTOĞRAF

Fotoğraf, mimari temsil yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Mimari tasarım sürecinde genellikle sürecin son aşamalarında kullanılan bu araç, başlangıçta yapıları belgelemek amacıyla geliştirilmiş olsa da, zamanla mimari eserleri daha geniş kitlelere ulaştıran güçlü bir iletişim aracına dönüşmüştür. Doğrudan deneyim imkânı bulamayan kişiler için fotoğraf, yapıların algılanmasını ve erişilebilirliğini sağlayan temel bir araç hâline gelmiştir (Sönmez, 2007).

Mimarlık, farklı iletişim araçlarıyla etkileşime girerek üretim sürecinin sınırlarını genişletmiştir. Bu bağlamda fotoğraf, yalnızca belge sunan bir araç olmaktan çıkıp, yapıyı yeniden kurgulayan ve izleyiciye sunan bir temsil düzlemi oluşturur. Fotoğraf aracılığıyla mimari yapılar, fiziksel ürün olmanın ötesine geçerek, yeniden inşa edilen ve çok katmanlı biçimlerde yorumlanan temsillere dönüşür. Yapının tamamlanmasının ardından yapılan fotoğraflama süreci, mimari ürünün farklı açılardan temsilini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda mimarın tasarım sürecinde geliştirdiği düşünsel kurgunun izleyiciye aktarılmasına da aracılık eder (Ercanlı, 2015).

Fotoğrafın evrimi ile modern mimarinin yükselişi arasında belirgin paralellikler bulunmaktadır. Modern mimarinin önemli eserlerini fotoğraflayan Ezra Stoller (1963), mimari ve fotoğraf

arasındaki ilişkiyi şöyle açıklar: Başarılı bir mimari fotoğraf, yapıyı doğrudan deneyimleme imkânı olmayan izleyici ile mimari eser arasında etkili bir iletişim kurar; fotoğrafın başarısı, bu iletişim işlevini ne ölçüde yerine getirdiğiyle değerlendirilir (Sağdıç, 2024).

Fotoğraf, bir yapının ikonikleşmesini sağlamakla kalmaz; aynı zamanda nesneleştirerek, tekrar üretilebilen ve tüketilebilen bir görsel temsil hâline dönüştürür. Bu tekrarlama süreci, farklı bakış açılarını görünür kılar ve mimari fotoğrafın kendine özgü bir anlatım dili geliştirmesini mümkün kılar (Sönmez, 2007; Sağdıç, 2024). Örneğin, Albert Renger-Patzsch 1920–1940'lı yıllardaki çalışmalarında geometrik öğeler ve ışık-gölge kontrastlarını ön plana çıkaran bir stil benimsemiştir. Buna karşın, László Moholy-Nagy, mimariyi çevresinden soyutlayarak mekân ve zamandan bağımsız bir plastik kompozisyon olarak ele almış, yapıları çizgi, doku, ton ve hacim ilişkileri üzerinden yeniden tasarlamıştır (Ergand, 2012; Sağdıç, 2024).

Modern mimarinin ABD'de "iyi yaşam" idealiyle ilişkilendirilmesiyle birlikte fotoğrafçılar, yapıları mekânsal, zamansal ve uzamsal boyutlarıyla analiz ederek tasarım, işlevsellik ve konfor gibi niteliklerini vurgulayan görselleştirmeler üretmişlerdir. Bu çerçevede Richard Neutra, Frank Lloyd Wright, SOM, Marcel Breuer ve Pierre Koenig gibi modernist mimarların eserleri, Ezra Stoller ve Julius Shulman'ın objektifinden yansıyan fotoğraflarla kalıcı bir görsel temsile kavuşmuştur (Ergand, 2012). Stoller'ın bu alandaki etkisi öylesine büyüktür ki, mimari fotoğraf literatüründe "Stollerized" kavramı ortaya çıkmıştır. Bu terim, genellikle Stoller'ın tarzına sahip veya onun yöntemini benimseyen fotoğrafları tanımlamak için kullanılır. Bu fotoğraflar, sadece belgeleme amacı taşımamakta, özenle tasarlanmış ve üretilmiş imgeler olarak değerlendirilmektedir. Pek çok mimar için yapılarının "Stollerized" fotoğraflarının çekilmesi, üretim sürecinin ayrılmaz bir aşamasını oluşturmaktadır (Acar, 2012; Sağdıç, 2024) Satriya (2013), mimari fotoğrafı, bir yapının veya ürünün geniş kitlelere ulaşmasını sağlayan görsel bir araç olarak tanımlar. Bu perspektife göre mimarlık ve fotoğraf, sanat ve bilim disiplinlerinin kesişim noktasında yer almakta, fotoğraf yalnızca belge sunmakla kalmayıp mimari düşüncenin izleyiciye aktarılmasında da kritik bir rol üstlenmektedir (Sönmez, 2022).

Mimari fotoğraf, inşa edilmiş yapının belirli bir perspektiften yakalanmış durağan bir temsili olarak tanımlanabilir. Bu fotoğraflar, tekil ve benzersiz bir zaman dilimini ölümsüzleştirerek tekrarlanamaz olasılıkları kayda geçirir ve böylece yeni bakış açıları ve özgün düşüncelerin doğmasına zemin hazırlar (Söhmen, 2011). 20. yüzyılda Bauhaus Okulu'nun etkisiyle mimarlık, yalnızca yapı üretimi olmanın ötesine geçerek tüm sanat dallarıyla etkileşim kuran bir ifade biçimine dönüşmüştür. Bu durum, mimarlığın disiplinlerarası kimlik kazanmasına ve "makine estetiği" anlayışının öne çıkmasına olanak sağlamış; mimarlık ile fotoğraf arasındaki ilişkiyi güçlendirmiştir (Ercanlı, 2015).

Mekân tasarımında fotoğraflar, sunum, pazarlama, rölöve, belgeleme ve arşivleme amaçlarıyla üretildiğinde, tasarım sürecinde çekilen fotoğraflardan temel fark, fotoğrafçının doğrudan yapının iç mekânında bulunabilmesidir. Bu görseller, hem fotoğrafçılık hem de mimarlık bağlamında "mimari fotoğraf" niteliği taşır. Mimari fotoğraf, diğer tür fotoğraflarla aynı fiziksel ve kimyasal kurallara sahip olsa da, konusu ve amacı bakımından ayrışır. Yapılı çevre, yerleşim düzeni ve insan-çevre ilişkisi gibi öğeler, mimari fotoğrafın temel konularını

oluştururken; temel amacı, mimari eserleri etkileyici ve belgeleyici bir biçimde sunmaktır (Uluengin, 1997; Arslan, 2022).

4. SONUÇ

Mimari fotoğraf, yalnızca bir yapının görsel kaydı olmanın ötesinde, mimarlık alanında kritik bir temsil aracı olarak değerlendirilebilir. İnşa edilmiş yapının mekânsal, biçimsel ve estetik özelliklerini belirli bir perspektiften aktaran fotoğraflar, yapının fiziksel gerçekliğini izleyiciye ulaşılabilir kılar. Doğrudan mekânı deneyimleme imkânı bulamayan kişiler için bu görsel temsil, mimari eserle kurulan ilişkiyi mümkün hâle getirir ve yapıların anlaşılmasını, değerlendirilmesini ve yorumlanmasını kolaylaştırır. Dolayısıyla mimari fotoğraf, hem fiziksel hem de kavramsal düzeyde izleyici ile yapıyı buluşturan bir aracı işlevi görür.

Fotoğrafın mimari temsildeki rolü, sürecin yalnızca belgeleme boyutuyla sınırlı kalmayıp, yapının yeniden yorumlanmasına ve kavramsal düzeyde yeniden inşasına olanak sağlamasıyla daha da belirginleşir. Bir yapının tamamlanmasının ardından yapılan fotoğraflama, mimarın tasarım sürecinde geliştirdiği düşünsel kurguyu, izleyiciye aktarabilmenin bir yolu olarak işlev görür. Böylece fotoğraf, mimari ürünün yalnızca fiziksel bir nesne olmasını önler; yapının mekânsal, tarihsel ve estetik boyutlarını bir araya getirerek çok katmanlı bir temsil düzlemi oluşturur. Bu işlev, mimari fotoğrafı teknik bir belgeleme aracından ziyade, yaratıcı ve analitik bir temsil biçimi hâline getirir.

Modern mimarlık ile mimari fotoğraf arasındaki paralellik, bu temsil işlevini daha da güçlendirmektedir. Bu bağlamda mimari fotoğraf, yalnızca görselleştirme işlevi taşımakla kalmayıp, mimari yapının kültürel ve estetik değerlerini görünür kılan bir iletişim aracı olarak öne çıkar. Fotoğrafın bu rolü, yapıların ikonikleşmesine ve farklı bakış açılarıyla yeniden yorumlanabilmesine de olanak sağlar. Bunun yanı sıra mimari fotoğraf, yapının tarihsel ve toplumsal bağlamını da temsil etme kapasitesine sahiptir. Bir yapının fotoğrafı, yalnızca fiziksel özellikleri değil, aynı zamanda tasarımın arka planındaki düşünsel süreçleri, dönemin estetik anlayışını ve yapının toplumsal bağlamını da izleyiciye aktarabilir. Bu yönüyle mimari fotoğraf, hem estetik hem de kuramsal düzeyde bilgi aktarımını mümkün kılar ve yapının çok boyutlu temsiline hizmet eder.

Sonuç olarak, mimari fotoğraf, mimarlıkta temsilin kritik bir boyutunu oluşturmaktadır. Fotoğraf, yapıyı yalnızca görünür kılmakla kalmaz; yapının mekânsal, estetik, tarihsel ve kültürel boyutlarını bir araya getirerek yeniden inşa eder ve izleyiciye sunar. Bu işlev, mimari fotoğrafı salt bir belgeleme aracı olmaktan çıkarıp, yaratıcı, analitik ve yorumlayıcı bir temsil biçimi hâline getirir. Böylece mimari fotoğraf, hem mimarın tasarım düşüncesinin aktarılmasında hem de yapının geniş izleyici kitleleri tarafından kavranmasında vazgeçilmez bir araç olarak öne çıkar.

KAYNAKLAR

Arslan, C. (2022). Mekân ve fotoğraf ilişkisine tasarım süreci bağlamında bir yaklaşım (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara.

Ayten, T. (2008). Fotoğraf ve temsil: Ara Güler'in İstanbul'a bakışı (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Barthes, R. (1996). Camera lucida: Fotoğraf üzerine düşünceler (R. Akçakaya, Çev.). Altıkırkbeş Yayınevi. (Orijinal çalışma yayın tarihi 1980)

Bozkurt, H. (2019). Mimari fotoğraf türlerinin değerlendirilmesi için melez bir yöntem önerisi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Crary, J. (1992). Techniques of the observer: On vision and modernity in the nineteenth century. MIT Press.

Ercanlı, Ç. (2015). Erken Cumhuriyet dönemi'nde mimarlık, ideoloji ve fotoğraf ilişkisi: Arkitekt kapakları (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ergand, Ç. (2012). Mimari ve fotoğraf. Kontrast Dergi, 22.

Evans, R. (2000). The projective cast: Architecture and its three geometries. MIT Press.

Freund, G. (2007). Fotoğraf ve toplum (Ş. Demirkol, Çev.). Sel Yayıncılık.

Hall, S. (1997). The work of representation. http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic500286.files/Representation_by_Hall_Pt1.pdf

Higgott, A., & Wray, T. (2012). Camera constructs: Photography, architecture and modern city. Ashgate Publishing Company.

Orhan, S. (2011). Fotoğrafik temsil olgusu ve çağdaş fotoğrafta savaşın estetize edilmesi (Doktora tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İzmir.

Sağdıç, E. (2024). Türkiye'de modernizmin temsil aracı olarak fotoğraf: Mimar/Arkitekt dergisi üzerinden karşılaştırmalı bir analiz (Yüksek lisans tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Scruton, R. (1981). Photography and representation. Critical Inquiry, 7(3).

Shulman, J. (1998). Architecture and its photography. Köln, Germany.

Sönmez, B. (2022). Mimarlıkta temsil kavramının sınırları: Örnekler üzerinden bir inceleme (Yüksek lisans tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Sukla, A. (2001). Art and representation: Contributions to contemporary aesthetics. Greenwood Publishing Group.

Uluengin, M. B. (1997). Mimari tasarlama sürecinde fotoğraf tekniklerinden yararlanma yöntemleri (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Walton, K. L. (1990). Mimesis as make-believe. In On the foundations of the representational arts. Harvard University.

Yıldırım, E. (2009). Foto-mekân, foto-hikâye, foto-duvar: Le Corbusier mimarlığı ve onun fotografik temsili (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

ANALYSIS OF THE SMART CITIES CONCEPT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN THE KARABAKH REGION OF AZERBAIJAN

Elnarə ƏHMƏDOVA
Nakhchivan State University, Centre for Master's and Doctoral Studies,
Nakhchivan / Azerbaijan
elnareehmedova04@icloud.com

Assoc. Prof. Gökhan UŞMA
Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University,
Faculty of Architecture and Design, Adana / Türkiye
usmagokhan@gmail.com - 0000-0002-7293-123X

ABSTRACT

The aim of this paper is to examine the role of the smart cities concept in addressing the social, economic, and environmental challenges that have emerged as a result of contemporary urbanization processes, with a particular focus on the Karabakh region of Azerbaijan. Smart cities are oriented toward the efficient management of urban infrastructure, the improvement of residents' quality of life, and the promotion of sustainable development through the application of digital technologies. Analytical and comparative methods are employed, and the study is based on various international sources, conceptual policy documents, and Azerbaijan's national strategies. Within the scope of the research, several key dimensions are evaluated, including the implementation of "smart" systems in urban governance, the optimization of energy resources, the intelligent management of transportation, and the expansion of electronic services. The findings indicate that the smart city model is not only a technological innovation but also a critical instrument for enhancing social welfare, preserving ecological balance, and increasing economic efficiency. The "smart city and village" projects implemented in the Karabakh region of Azerbaijan are assessed as major steps in this direction and provide an important foundation for future sustainable urban development in the country.

Keywords: Smart Cities, Sustainable Development, Urban Governance, Digital Technologies, Intelligent Transport Systems, Karabakh Region, Azerbaijan

1. INTRODUCTION

Rural-to-urban migration has intensified in recent decades, leading cities to confront a wide range of complex challenges. These challenges include, first and foremost, significant shortages in meeting everyday basic needs, as well as deepening ecological crises and pollution levels reaching critical thresholds. In this context, “smart city” and “smart village” projects are regarded as new urban development approaches that directly affect quality of life. In particular, the “smart village” system creates opportunities to overcome barriers related to distance, low infrastructure capacity, and population distribution in rural areas (Şimşek, 2025, pp. 36–37).

A smart city is an urban development model that relies on modern information and communication technologies (ICT) to support effective governance, efficient allocation of resources, and improved quality of life for residents. In such cities, all key sectors—transport, energy, public utilities, security, and social infrastructure—are integrated through digital systems. This integration enables the city to operate more efficiently from both economic and environmental perspectives. Smart city initiatives aim to improve the region’s economic capacity, infrastructure, public services, and governance systems while creating new opportunities. These projects are based on the full utilization of information and communication technologies, and ICT is considered the main driving force behind smart city initiatives (Şimşek, 2025, pp. 36–37).

This approach is currently being implemented in the Karabakh region of Azerbaijan. Karabakh is not only one of the oldest historical regions of the Republic of Azerbaijan but also an area endowed with substantial raw material and natural resource potential. The region is distinguished by its rich traditions, cultural heritage, unique landscapes, and diverse natural assets. Today, in the previously conflict-affected territories of Karabakh, the systematic restoration and redevelopment of service sectors is actively under way. When effectively harnessed, Karabakh’s considerable natural resources can make a significant contribution to the enhancement of Azerbaijan’s economic performance and the improvement of citizens’ welfare.

The country’s investment potential has expanded considerably in the context of political and socio-economic transformations since independence and the transition to a market economy. Agriculture, tourism, and industry constitute the core economic domains of these territories. These resources foster the economic potential of the region and support the overall improvement of living standards. At the same time, the socio-economic development of the region is a process that requires substantial financial resources. It is evident that the new economic value to be generated in these areas will initially increase public expenditures. Among the main factors that encourage investment are the exploitation of natural resources and mineral deposits, which offer promising prospects for the future. The principal goals of regional policy include attracting domestic and foreign investment to the regions and increasing both production capacity and export potential (Haciyeva et al., 2023, p. 535).

On 19 April 2021, the President of the Republic of Azerbaijan signed a decree on the preparation of “smart city” and “smart village” concepts (AZƏRTAC, 2021). In line with this decree, the “smart city” and “smart village” concepts form the basis of strategic projects implemented in Karabakh. In accordance with the instructions given by President Ilham Aliyev in 2021, a new model of urbanization is being introduced in the region, namely a “smart city”

approach in which modern technologies, green energy, digital governance, and ecological balance are prioritized.

2. MAIN DIRECTIONS OF SMART CITY AND SMART VILLAGE PROJECTS IN KARABAKH

The main directions of smart city and smart village projects in Karabakh are designed to support the reconstruction of the region and its development in line with contemporary requirements. These projects are structured around several key areas. First, the establishment of digital infrastructure is considered a priority. Another important direction concerns the improvement of smart transport systems and traffic management. A further core objective is to increase energy efficiency and develop green energy systems. The Karabakh region has significant potential in terms of wind, water, and solar energy. Another essential direction is smart agriculture, which is based on the use of digital technologies in the agricultural sector (Huseynova and Mazanova, 2023, pp. 57–60).

3. BARRIERS TO SMART CITY AND SMART VILLAGE PROJECTS IN KARABAKH

Although there is substantial potential for the implementation of smart city and smart village concepts in Karabakh, this process faces a number of significant challenges. First, the region has experienced extensive infrastructure disruption as a result of nearly three decades of armed conflict. Electricity, water, gas, road, and communication networks have been severely damaged, and many settlements have been destroyed. Another major barrier is contamination by land mines and unexploded ordnance. This situation slows down construction and reconstruction activities and complicates the attraction of investment. Financial and investment constraints constitute an additional group of key challenges, since smart city and smart village technologies require high initial capital costs. Furthermore, in areas where human settlement has been limited for many years, there is a shortage of qualified human resources. The weak state of technological infrastructure also represents a significant obstacle (Valiyev, 2022, pp. 2-5).

The Karabakh and Eastern Zangezur economic regions rank among the parts of Azerbaijan with the highest energy potential due to their natural and geographical characteristics. By presidential decree, this territory has been designated a “Green Energy Zone,” and the large-scale deployment of renewable energy sources in the region has been identified as a strategic priority (Decree of the President of the Republic of Azerbaijan, 2021).

4. RENEWABLE AND NON-RENEWABLE ENERGY SOURCES IN KARABAKH

The Karabakh region is considered one of the most promising areas of Azerbaijan in terms of renewable energy resources. Solar, wind, hydropower, bioenergy, and geothermal resources provide varying levels of potential for energy production. Karabakh is among the regions of the country with the highest solar energy potential. In the districts of Fuzuli, Jabrayil, and Zangilan, the annual duration of sunshine reaches approximately 2,100-2,200 hours. According to estimates by the Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan, the solar energy potential of the region exceeds 1,000 MW. At present, the implementation of solar power plant projects

with a total capacity of 240 MW is under way in the Zangilan and Jabrayil districts (Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan, 2023).

The mountainous relief and high altitudes of Karabakh create favorable conditions for wind energy development. In the districts of Lachin, Kalbajar, and Shusha, the average annual wind speed is around 7-8 m/s, which is considered optimal for the construction of wind power plants. The wind energy potential of the region is estimated at approximately 500–600 MW (International Energy Agency [IEA], 2022).

Rivers such as Tartarçay, Həkəriçay, and Bazərçay, which flow through the districts of Kalbajar, Lachin, Qubadli, and Khojavend, offer significant opportunities for hydropower generation. In earlier periods, more than 30 small hydropower plants operated in the region. Currently, stations such as Sugovushan-1 and Sugovushan-2 have been restored, and additional small hydropower projects are at the planning stage. The total hydropower potential of the region is estimated at 150-200 MW (AzerEnerji, 2022).

Agricultural and forest resources in Karabakh provide a natural basis for bioenergy. The bioenergy potential derived from crop residues, wood waste, and animal-based biomass is estimated at around 20–30 MW (Food and Agriculture Organization [FAO], 2022). Although the districts of Kalbajar and Lachin possess rich mineral water resources, geothermal energy has not yet been utilized for industrial-scale energy production. Overall, the territory of Karabakh is rich in renewable energy resources, whereas non-renewable energy sources are very limited in volume and do not play a significant role at the industrial scale.

4. PASSIVE HOUSE DESIGN WITHIN THE SMART CITY CONCEPT AND ITS APPLICATION IN AZERBAIJAN

A passive house is a highly energy efficient building model that maintains comfortable indoor temperatures throughout the year with minimal need for additional heating or cooling. The concept was first developed by the Passive House Institute in Germany. The main characteristics of passive houses can be summarized as follows:

- An effective insulation system that minimizes heat loss
- An airtight building envelope
- Maximum utilization of solar gains
- A reduction in energy consumption of approximately 70–90 percent
- Low carbon emissions and high environmental sustainability (Passive House Institute, n.d.; Uşma, 2021)

Compared with conventional buildings, a passive house requires significantly less energy for heating and cooling and is therefore regarded as one of the most efficient building standards in contemporary practice. Within the framework of the smart city concept, the passive house approach is particularly important for improving energy efficiency, optimizing resource use, and reducing environmental impacts. At present, there is no officially announced “Passive House certified” project or state-declared flagship passive house initiative in Azerbaijan. However, the ongoing implementation of energy efficient building standards, the planning of new residential developments, and the expansion of green energy zones create a potential

foundation for the future application of the passive house concept in the country (Passive House Institute, n.d.; Uşma & Akıncı, 2022).

5. THE SIGNIFICANCE OF THE PASSIVE HOUSE CONCEPT FOR KARABAKH

The passive house concept, which is based on minimizing buildings' demand for heating and electricity, is fully aligned with the reconstruction strategy for Karabakh. Such highly energy efficient buildings can make a substantial contribution to the development of Karabakh as a "Green Energy Zone," by reducing overall energy consumption and limiting carbon emissions.

This approach is regarded as a promising pathway for adapting passive house technologies, which are already widely applied in Europe and the United States and have proven to enhance energy efficiency, to the specific conditions of Karabakh. At the national level, the gradual development of a regulatory framework on energy efficiency in Azerbaijan and the strengthening of energy performance standards in the construction sector can be seen as important steps that support the future implementation of the passive house concept in the region.

4. CONCLUSION

The analysis demonstrates that smart city and smart village projects in Karabakh represent a key strategic direction for the reconstruction and sustainable development of the region. This model enhances the efficiency of governance in both urban and rural settings through the application of information and communication technologies, ensures the optimal use of resources, and improves the overall quality of life for the population. The development of digital infrastructure, smart transport systems, green energy, and smart agriculture expands the economic potential of Karabakh and makes a significant contribution to the broader reconstruction process.

At the same time, extensive infrastructure damage that accumulated over a prolonged period of conflict, the continued presence of land mines, high financial requirements, and shortages of qualified human resources complicate the implementation of these projects. Addressing these challenges in a gradual and systematic manner requires sustained public investment and strengthened international cooperation. Overall, the smart urbanization model being implemented in Karabakh is becoming a core element of Azerbaijan's contemporary urban planning policy and provides strong impetus for the future development of the region in line with the country's long-term socio-economic development strategy.

The findings also indicate that the energy potential of the Karabakh region is shaped primarily by renewable energy sources. High levels of solar, wind, and hydropower potential justify the designation and development of the region as a "Green Energy Zone" (Decree of the President of the Republic of Azerbaijan, 2021). Because non-renewable energy resources are limited in scope and economic significance, the energy strategy for Karabakh is largely based on the deployment of renewable energy. This model can be regarded as a sustainable approach that simultaneously supports economic growth and environmental security.

Although no specific passive house projects have yet been officially announced in Karabakh, the adoption of a "green," "smart," and "energy efficient" urbanization model for the region's reconstruction creates favorable conditions for the future application of the passive house

concept. The importance attached by the Azerbaijani government to energy efficiency and renewable energy projects, together with the gradual strengthening of energy performance requirements in the building sector, provides a solid basis for the eventual integration of passive house standards into new developments in the region.

REFERENCES

AZƏRTAC, President Ilham Aliyev: “Smart City” and “Smart Village” Concepts Must Be Developed and Implemented in Our Country [Video], AZƏRTAC, 26 January 2021. https://azertag.az/xeber/prezident_ilham_eliyev_olkemizde_agilli_seher_agilli_kend_konsepsiyasi_islenmeli_ve_tetbiq_edilmelidir_video-1697141 (Access date: 10.12.2025)

Decree of the President of the Republic of Azerbaijan, On Declaring the Karabakh and East Zangezur Economic Regions a “Green Energy Zone”, AZƏRTAC, 4 May 2021. https://azertag.az (Access date: 18.11.2025)

Haciyeva, P., Zeynalova, F., Sultanova, A., and Bayramova, S., Qarabağın Iqtisadi Potensialı və İnvestisiya Cəlb Olunması İstiqamətləri (Heydər Əliyev-dən İlham Əliyev-ə Doğru), TURAN: Strategic Research Center, 15, 533-545, 2023.

Huseynova, A., and Mazanova, O., The Leading Role of Digital Technologies in the Development of the Smart City Concept in Azerbaijan, International Journal of Information Technology and Computer Science, 15 (3), 55-64, 2023.

IEA - International Energy Agency, Azerbaijan Energy Profile, IEA, Paris, 2022. https://iea.org (Access date: 02.12.2025)

Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan, Information on Renewable Energy Potential in Karabakh and East Zangezur, Ministry of Energy, Baku, 2023. https://minenergy.gov.az (Access date: 16.12.2025)

Passive House Institute, Passive House Institute, https://passiv.de (Access date: 16.12.2025)

Şimşek, C. C., Pamukkale-Hierapolis Antik Kentinde Yeni Keşifler: Yeraltı Dünyası Poulutonion, Karia’da Kentleşme, Kentlerde ve Kırsalda Yaşam - Urbanization in Caria, Urban and Rural Life, 16th Karia, Karialılar ve Mylasa Symposium (5-6 September 2025), 36-37, Milas, 2025.

Uşma, G., and Akıncı, N. F., Developing a Model for User Satisfaction Assessment in Energy-Efficient Dwellings, ACE: Architecture, City and Environment, 17 (49), 10515, 2022. https://doi.org/10.5821/ace.17.49.10515

Uşma, G., Enerji Etkin Konutlarda Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2021.

Valiyev, A., Building Smart Cities in Azerbaijan: Hard to Conceptualise, Difficult to Build, Caucasus Analytical Digest, 125, 2-6, 2022.

World Bank, Azerbaijan: Renewable Energy Zones Report (Karabakh and East Zangezur), World Bank Publications, Washington, DC, 2023. https://worldbank.org (Access date: 16.12.2025)

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

SOCIAL SUSTAINABILITY IN URBAN TRANSFORMATION: THE CASE STUDY OF BAYRAKLI, İZMİR

Zeynep Tutku EREN
İzmir Institute of Technology,
zeyneptutkueren@gmail.com - 0000-0003-0230-9899

ABSTRACT

The right to the city is not just a demand for access to urban space but also a demand for the right to shape it. An inclusive approach where inhabitants are not passive but active participants in shaping their environments is fundamental. Thus, urban policies should consider and prioritize urban life over market-driven priorities in transforming cities. Within this context, urban transformation initiatives in Turkiye are often characterized by a top-down planning approach that aims for physical renewal and economic development over social sustainability. This paper examines the "Bayraklı Urban Transformation and Development Project" that was started in 2012 for the "gecekondu" neighborhoods of Alpaslan, Cengizhan, and Fuat Edip Baksı in Bayraklı, İzmir. The project is a comprehensive transformation project which is still not finished at the present. This study examines the causes of this stagnation through a theoretical framework based on social sustainability and participatory planning. Based on a strategic analysis report, a planning report, and resident surveys, it is understood that the cooperation between authorities and inhabitants remains a difficult issue. The exclusion of locals from decision-making processes concerning their own homes has resulted in this lack of cooperation. Consequently, the municipality's intended plans and the social realities of the inhabitants are in conflict. Therefore, in this paper, it is proposed that achieving sustainable urban regeneration in Bayraklı requires a change from a property-led model towards a socially inclusive model which must take into consideration the participatory planning, cultural values, collective memory and community ties.

Keywords : Urban transformation, social sustainability, participatory planning, gecekondu, Bayraklı

KENTSEL DÖNÜŞÜMDE SOSYAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: İZMİR, BAYRAKLI ÖRNEĞİ

Zeynep Tutku EREN
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü,
zeyneptutkueren@gmail.com - 0000-0003-0230-9899

ÖZET

Kent hakkı, kentsel mekana erişim talebinin ötesinde, o mekanı yeniden biçimlendirme hakkını da kapsar. Kentsel gelişimin temeli, sakinlerin izleyici konumundan çıkıp çevrelerini dönüştüren etkin aktörler olduğu kapsayıcı bir yaklaşıma dayalı olmalıdır. Dolayısıyla planlama politikaları, kentsel dönüşüm sürecinde market odaklı hedeflerden çok kentsel yaşamın sürdürülmesini öncelemelidir. Özellikle Türkiye'deki kentsel dönüşüm uygulamalarına bakıldığında, genellikle sosyal sürdürülebilirlikten uzak, fiziksel yenileme ve ekonomik kalkınma odaklı bir anlayışın var olduğu söylenebilir. Bu çalışma, İzmir'in Bayraklı ilçesinde bulunan Alpaslan, Cengizhan ve Fuat Edip Baksı gecekondu bölgeleri için 2012'de başlatılan "Bayraklı Kentsel Dönüşüm ve Gelişim Projesi"ne odaklanmaktadır. Proje kapsamlı bir dönüşüm projesi niteliğinde olmakla beraber günümüzde halen tamamlanamamıştır. Çalışmada, projedeki duraksamanın nedenleri sosyal sürdürülebilirlik ve katılımcı planlama teorileri doğrultusunda irdelenmektedir. Bu bağlamda, stratejik analiz raporları, planlama belgeleri ve anket verileri incelendiğinde, yetkililer ile bölge halkı arasında bir iş birliği sorunu olduğu anlaşılmaktadır. Bu sorunun temel kaynağı, yerel halkın kendi konutlarıyla ilgili karar verme süreçlerinde dışlanması olarak görülmektedir. Gelinen noktada, yetkililerin planları ile bölgenin sosyal gerçekliği anlaşmazlık halindedir. Bayraklı'da dönüşümün sağlanması için mülkiyet odaklı bir modelden, katılımcı planlamayı, kültürel pratikleri, toplumsal belleği ve topluluk bağlarını gözeten kapsayıcı bir modele geçilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Kentsel dönüşüm, sosyal sürdürülebilirlik, katılımcı planlama, gecekondu, Bayraklı

I. INTRODUCTION

For many years in Turkiye, urban transformation has been seen as a means to modernize cities, mitigate disaster risks, and enhance regions developed without proper planning. Such projects are frequently characterized as efforts to reconstruct old housing and infrastructure (Genç, 2008). Yet, they usually result in issues such as displacement, loss of community ties and cultural values. Such issues particularly occur in gecekondu[1] areas, where informal dwellings are deeply linked to everyday life, social connections, and a sense of community (Ozbek Sonmez, 2009). When neighbourhoods are physically altered for the purpose of modernization, the social context of the urban spaces is also altered. Such an urban transformation effort was initiated in Bayraklı in 2012, which is a clear example of this situation.

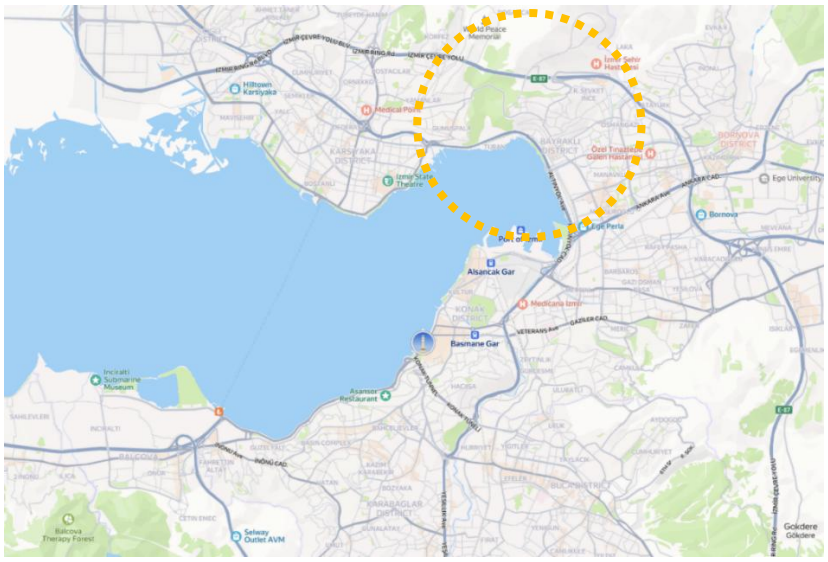


Figure 1. Map of İzmir (Orange circle indicates Bayraklı) (*Source: Yandex Maps*)

Bayraklı, a central district in İzmir (Figure 1), includes the neighborhoods of Alpaslan, Cengizhan and Fuat Edip Baksı. These neighbourhoods are recognized for their dense informal housing, working-class inhabitants, and extensive migration backgrounds (Ozbek Sonmez, 2009). Although these areas were not designed by the government, they have developed into vibrant and close-knit communities. These communities showcase how individuals shape and modify space through their daily activities, which can sometimes conflict with formal planning objectives. (Figure 2 & 3).

The large-scale urban renewal project was initiated for Bayraklı by the İzmir Metropolitan Municipality. The plan consisted of replacing the informally built houses with residential blocks, improving infrastructure, providing shore accessibility, and building new commercial facilities (İzmir Metropolitan Municipality, 2012). The project was presented as an example of

[1] The term *gecekondu* refers to low-cost, incrementally built informal housing during periods of rapid rural to urban migration in Turkiye.

on-site transformation, which meant that residents would not be forced to move far from their current homes. Despite the primary intentions of the project, more than ten years later, most of the project has not been realized. It has faced legal challenges, delays in decision-making and major disagreements with residents (Bayraklı Municipality, 2019). As of today in 2025, the transformation process of Alpaslan, Cengizhan, and Fuat Edip Baksı neighborhoods is uncertain.



Figure 2. Bayraklı's informal housing (*Source: https://www.gercekizmir.com/yazdir.asp?haberid=46669*)

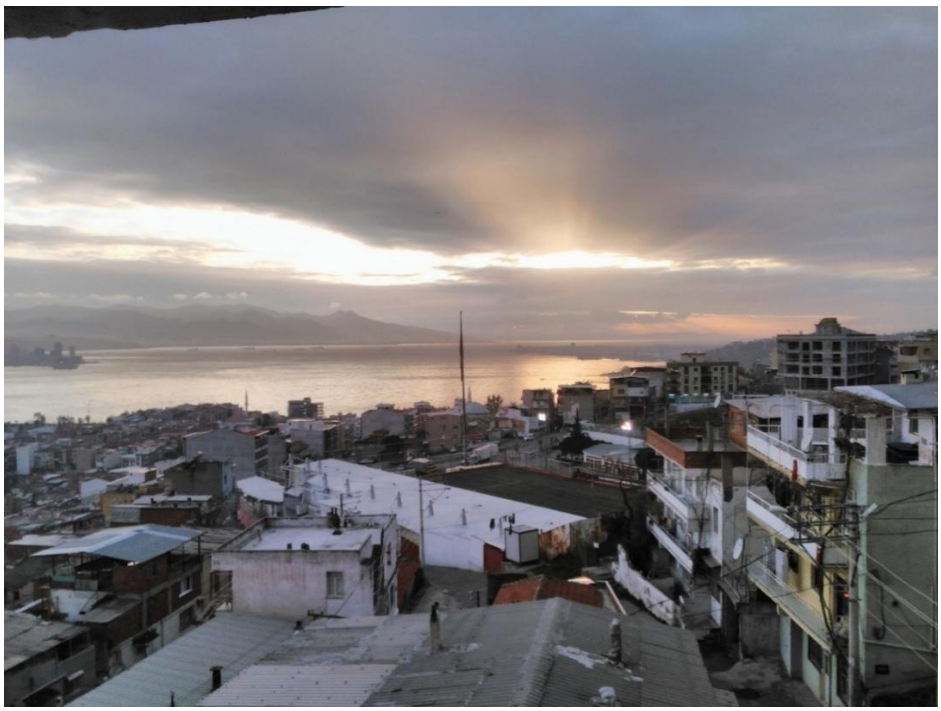


Figure 3. Alpaslan neighborhood (*Source: https://sonbaski.com/wp-content/uploads/2022/05/izmir.jpg*)

This study aims to understand the reasons for the stagnation of the Bayraklı project and why it has not been fully implemented still. While the project is in stagnation, many residents have taken action, some have joined community meetings, filed lawsuits, or resisted demolition instead of waiting for the project to be implemented (Kalaycı Önaç & Birişçi, 2020). The renewal process is examined through a comprehensive analysis of project reports, strategic plans, articles and media archives. The case of Bayraklı raises the question of how urban transformation could be more just, inclusive, and contextual. Clearly, the transformation process of Bayraklı reflects a deeper issue between institutional planning frameworks and the lived urban realities of gecekondu communities.

Furthermore, Bayraklı's current situation is complicated by its designation as the "İzmir New City Center" (Figure 4). Since then, the coastal part of the district has been transformed into a hub that is characterized by high-rise office towers, luxury residences, and the Turan Port development (Erdem, 2019). This skyline stands in stark contrast to the dense, low-rise informal settlements located immediately adjacent to it (Figure 5). This spatial duality creates a significant rent gap[1], where the large investments in the new center increase the speculative land value of the informal areas that are very close to it. Consequently, the pressure for transformation is affected by it. There is an aim for integrating these informal settlements into the shiny New City Center, which raises serious concerns about gentrification and social exclusion (Karadağ & Mirioğlu, 2012).

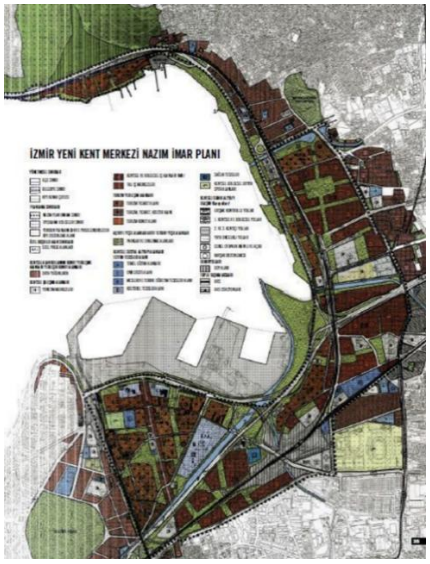




Figure 4. New City Center Plan (*Source: İzBB, 2003*) **Figure 5.** New City Center of İzmir in the Bayraklı district (*Source: Wikimedia Commons*)

Consequently, the study comprises of a qualitative case study approach. It utilizes a critical perspective to evaluate the planning process of the Bayraklı Urban Transformation and Development Project. It relies on official reports and secondary data sources to comprehend residents' view. The analysis begins with a review of official documents, specifically the 2020-

[1] *Rent gap* describes the difference between the current value of the land and its potential value under a higher-value redevelopment scenario (Smith, 1979).

2024 Strategic Plan of the Bayraklı Municipality and other reports of the transformation project. They are correlated with field data provided by the Chamber of Architects in 2019 regarding resident demographics and preferences, more specifically the residents' demand to remain in the area. Furthermore, historical records and media archives were reviewed to contextualize the social tension surrounding the project. In line with the aim of the study, the sources are analyzed through the theoretical lens of social sustainability to provide a complete understanding of the situation.

II. URBAN TRANSFORMATION AND SOCIAL SUSTAINABILITY

Urban transformation has become an essential tool in contemporary urban policy, often presented as a response to social, economic, and environmental challenges in cities. Discussions of urban transformation often focus on physical and technical aspects, leaving the social dimension less clearly defined. In urban transformation practices the social dimension is the most neglected component usually. Sustainable development is visualized as the intersection of three fundamental aspects: environmental protection, economic growth, and social equity. While this intersection suggests a balanced triad approach, its reflection onto the practice is different. In many state-led transformation projects, "sustainability" is often reduced to technical aspects such as energy efficiency, earthquake resilience, or infrastructure capacity. However, contemporary urban theory argues that a sustainable city depends on if its communities are also sustained. Therefore, social sustainability refers not only to maintaining community identity and improving individual wellbeing, but also to the long-term ability of a community to sustain social cohesion, equity, inclusion, and stable social relations (Dempsey et al., 2011).

This understanding is progressively aligned with international policy frameworks, most notably the United Nations' Sustainable Development Goals. It calls for making cities "inclusive, safe, resilient and sustainable" (UN, 2015). Within such framework, urban renewal is not just about improving physical conditions. It aims to ensure access to adequate, safe, and affordable housing and to enhance inclusive and sustainable urban development through participatory planning. Besides the buildings and roads of an area, the social context which includes the complex social networks, neighbor relations, collective memory, and the sense of belonging that defines a place (Colantonio, 2009). When these intangible aspects are not considered in the process of physical renewal, the result is often social fragmentation.

Consequently, the concept of the right to the city provides a theoretical framework useful for understanding urban transformation interventions. The concept is not just limited to a legal claim for access to basic urban services such as housing, water, or electricity. But rather, it describes a political right to actively shape the process of urbanization. Lefebvre describes this right as "a cry and a demand" by the marginalized groups that are experience exclusion through dominant planning practices (Lefebvre, 1991). In this sense, the city is shaped through the everyday lives and experiences of the people who live in it. Therefore, the people who live in and actively use the city should also have an active role in shaping it, rather than state institutions or private developers being the sole decision-makers in initiatives. Crucially,

participatory planning is a primary concern for analyzing urban change. It demands that communities can not be excluded from the decisions affecting their homes. Within the scope of urban renewal, such an involvement forms the basis of social sustainability by giving attention to community needs and relationships (Ataöv & Osmay, 2007).

Harvey argues that the right to the city has become more limited and selective, as it is mainly used by political and economic groups to reshape cities according to their own priorities (Harvey, 2008). In the context of neoliberal urbanism, as discussed by David Harvey, the production of urban space is increasingly shaped by economic interests rather than by everyday human needs. Within this context, cities are often regarded as drivers of economic growth, while market forces and privatization tend to marginalize the interests of the wider public (Harvey, 2008). Additionally, such transformation strategies can also generate what Peter Marcuse describes as displacement pressure. Displacement is not limited to physical relocation but develops gradually over time. Marcuse defines displacement pressure as the economic and psychological stress experienced by residents when urban transformation occurs without their consent. This pressure may be in the form of weakening of local cultural practices, access to affordable services, investment and participation in planning processes (Marcuse, 1985). Residents living in risky areas experience uncertainty. In that sense, Marcuse suggests that the right to the city should include both the right to remain and the right to participate meaningfully in planning decisions.

Another issue in urban transformation is in the disconnection between what Lefebvre describes as conceived space and lived space[1] (Lefebvre, 1991). Conceived space is produced by planners, experts, and institutions. It is abstract and technical, and it is designated in maps, zoning regulations, and master plans where the main aim is to imagine the city with order, efficiency and economic value. In contrast to that, lived space is shaped by daily activities and everyday life of residents. Lived space is formed through experience, memory, and social interaction. Specifically informal settlements, the shared courtyards, narrow streets and incrementally built houses display strong social and symbolic meanings for residents. So when urban transformation projects represent standardized planning approaches to these everyday living spaces, disrupting existing social relations and local meanings is a risk. This process can diminish collective memory and community identity, while prioritizing economic considerations over everyday use.

Social sustainability is closely linked to the preservation of social capital in informal settlements. These neighborhoods are often defined by strong internal social ties. Residents depend on local networks for everyday support and economic survival. This form of social capital is commonly described as bonding social capital, which emerges from close, localized relationships within the community (Portes, 1998). Such networks function as a social safety net by providing childcare, financial help during economic difficulties, and a sense of security. Changing the physical environment without considering social relations leads to the community itself impoverishing. The housing layout and spatial organization are closely connected to the social structure of the community. When urban policies overlook existing social relations, they

[1] Lefebvre's "spatial triad" in The Production of Space, analyzes the social production of space through the dialectic of *perceived, conceived* and *lived* space (Lefebvre, 1991).

risk building environments that feel detached from residents' social realities and insufficient for their daily life (Brenner, 2009).

Urban transformation, as these debates show, is a process with social and political considerations in addition to technical and economic ones. This emphasizes the need for participatory planning and collective decision-making in ensuring social sustainability within urban transformation. Fairness and transparency in how decisions are made is crucial. When communities are included in the planning process, the outcome is more likely to align with the needs and shared values (Ataöv & Osmay, 2007). Therefore, urban transformation should aim for both physical and social improvement with respect to the existing community.

III. URBAN TRANSFORMATION: THE CASE OF BAYRAKLI

The Bayraklı Urban Transformation and Development Project provides an example to examine the conflict between institutional planning and urban social reality. To understand the challenges of transformation project, it is necessary to first analyze the disconnect between the municipality's planning vision and the social context of the district. The "Bayraklı Urban Transformation and Development Project" was initiated in 2012, and covered a 60-hectare area containing 5,813 buildings and approximately 22,000 residents (Bayraklı Municipality, 2015) (Figure 6).



Figure 6. Bayraklı Urban Transformation and Development Project (*Source: İzmir Metropolitan Municipality, 2012*)

This zone is currently characterized by high-density informal housing, containing approximately 5,813 independent units (Figure 7). The proposal adopts an 'on-site transformation' model to modernize the urban fabric while theoretically retaining the existing

population. The proposal includes technical interventions such as vertical urban elevators, pedestrian bridges, and solar-powered walking platforms to enhance accessibility in the challenging steep topography of the area (Figure 8 & Figure 9). Furthermore, the design incorporates green corridors to enable airflow from the sea and establishes commercial axes under residential blocks to enhance economic activity (İzmir Metropolitan Municipality, 2012).



Figure 7. Bayraklı's gecekondu neighborhoods currently (Source: *https://image.dha.com.tr/i/dha/75/0x0/66b47c81905edbad403e9233.jpg*)



Figure 8. Project visuals (*Source: İzmir Metropolitan Municipality, 2012*)



Figure 9. Plan proposal (*Source: https://www.ugurkentseldonusum.com.tr/*)

Bayraklı has a historical significance in the city of İzmir as it hosts the ancient city of Smyrna dating back to 3000 BCE (Akurgal, 2002). Over time, the historical meaning of Bayraklı has been redefined by migration, excessive urban growth and planning interventions, resulting in a multi-layered urban landscape. Today the district is characterized by a distinct spatial contrast between the 'New City Center' and the informal settlements (Kalaycı Önaç, 2017). Since the early 2000s, the "İzmir New City Center" plan has visioned the coastal area of Bayraklı as a zone for high-rise development. This area is characterized by skyscrapers and the Turan port development (Erdem, 2019). Directly next to this zone is the informal settlements of Alpaslan, Cengizhan, and Fuat Edip Baksı. These informal areas have inadequate infrastructure but they house a vibrant working-class population (Ozbek Sonmez, 2009) (Figure 10).

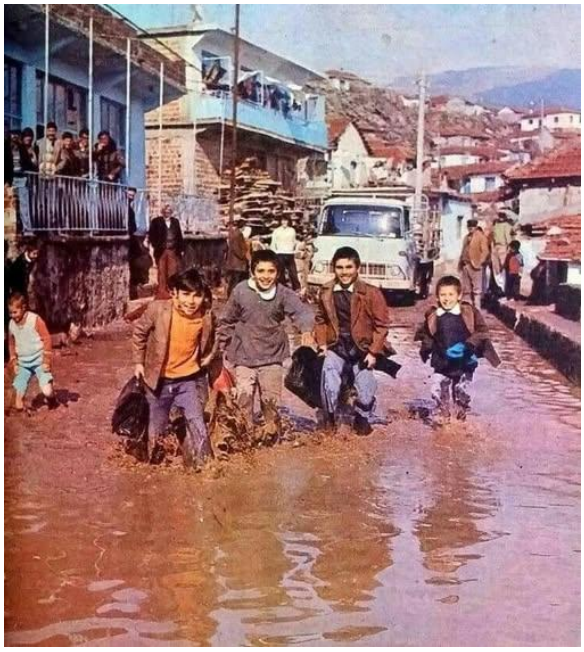


Figure 10. View from the informal settlements of Bayraklı (*Photograph taken by the author in 2023*)

Alongside the strong place attachment of residents in these neighborhoods, there were severe physical problems. The housing stock in Alpaslan, Cengizhan, and Fuat Edip Baksı is largely comprised of unreinforced masonry or low-quality reinforced concrete structures that with poor structural quality. Residents experience significant problems including poor thermal insulation, dampness, and heating difficulties that reduce comfort during winter. Furthermore, the district's steep topography complicates daily mobility, the narrow, winding street pattern complicates access for vehicles and public transport. These physical inadequacies are acknowledged by the residents and make up the basis for a transformation demand. Yet, the critical point is that while residents request physical improvements, the possibility of social displacement complicates the situation.

Despite the difficult conditions, the community in Bayraklı has demonstrated resilience. The resistance to the project suggests a strong place attachment. A survey done by the Chamber of Architects to the residents reveals that over 65% of them express a desire to remain in their current neighborhood rather than accept relocation or financial compensation (TMMOB, 2019). This attachment is closely related to the spatial and social characteristics of gecekondu settlements, which have developed incrementally through internal migration and long-term

settlement practices. The morphology of these neighborhoods reflects shared labor, kinship relations, and adaptive building processes shaped by rural-to-urban migration (Kalaycı Önaç, 2017). Resistance reflects their community values. The residents are not against improvement, but they are resisting a transformation that does not fully include them. They are showing their resistance by filing lawsuits and refusing to sign redevelopment contracts. Thus the project's continuation was faced with obstacles. Despite municipal resettlement efforts, the continued presence of residents in the area reflects a strong attachment to existing community ties.



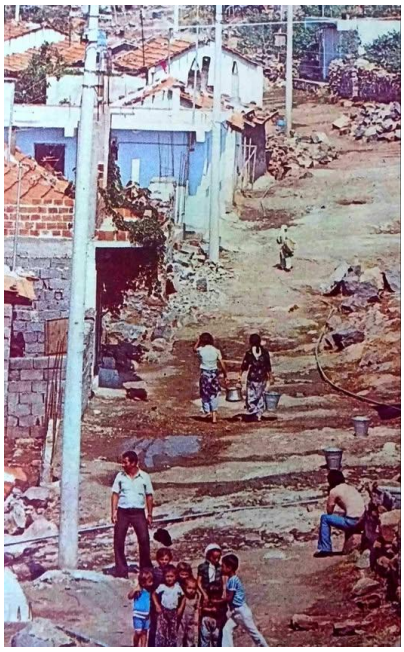


Figure 11 and Figure 12. Alpaslan, Bayraklı in 1977 (*Source: https://www.facebook.com/izmirtarih/posts/bayrakl%C4%B1-alpaslan-mahallesi-1977/1495411640664810/*)

The official proposal suggested a vertical development model to increase functionality, green space and infrastructure. While the intent was as such, it was contradictory with the existing communities' way of living. Many residents live in multi-story, incrementally built structures that house large families (Figure 11 & Figure 12). The proposal to move them into single apartment units in high-rise blocks is unadaptable to their family structures. The residents' demand for "one apartment for each floor" was regarded by authorities as an economic obstacle rather than a social necessity (Kalaycı Önaç, 2017). Although public meetings were held, the planning process remained largely top-down. The residents were recipients of information rather than active participants of the transformation process. This exclusion led to a lack of trust and collaboration.

Naturally, this lack of trust and the prolonged uncertainty have affected the community. While a portion of the residents reached an agreement with the local government, sold their houses and left the area, others haven't reached an agreement. Those who did not agree continue to live there and resist, demanding better conditions and protection of their social community. This situation has created a divided demographic within the neighborhood.

Moreover, the transformation project was further compromised by administrative issues. The changes in administration and a lack of coordination between institutions have caused issues. In the 2020-2024 Strategic Plan of the Bayraklı Municipality, it is stated that the project has stalled due to limited funds and coordination challenges within central authorities (Bayraklı Municipality, 2019). Under these circumstances, residents can be described as living in a condition of "displacement without moving" (Marcuse, 1985).

The earthquake in 2020, heavily affected Bayraklı and the new city center. The destruction occurred primarily in the flat areas of the district due to poor soil conditions. The informal housing on the rocky slopes survived the earthquake with minimal damage, while licensed buildings on alluvial soil collapsed. However, the post-disaster policies introduced the concept of transferring populations to designated reserve areas located far from their existing neighborhoods. This shift in policy deepened the displacement pressure on the residents. Due to the designation of the area as a risky zone, they face legal limitations on repairing or renovating their homes. As a result, many continue to live in deteriorating structures under seismic risk and eviction threat.



Figure 13 and Figure 14. Spatial dualism of Bayraklı (*Source: https://mekandaadalet.org/depremden-bir-yil-sonra-bayrakliya-bakis/)*

The municipality's plans of replacing the informal housing stock with vertical blocks aims to align the area with the visual aesthetic of the New City Center. This approach strongly disregards the industrial heritage and the migration history of the area (Karadağ & Mirioğlu, 2012). Within this system, cities are regarded primarily as tools for economic growth, while market forces and privatization ignore the general public (Harvey, 2008). For neighborhoods with working class inhabitants located near high-value areas, such as the case of Bayraklı, this situation creates a significant rent gap (Figure 13 and Figure 14). The closeness to the new business district puts pressure on the transformation project. Possibly, the value of the land after redevelopment will become much higher than its current value, which in turn will create economic pressure for displacement.

This state of uncertainty acts as a passive mechanism of displacement, affecting everyday life and displaying the challenges with the current planning approach. Fundamentally, this continuous uncertainty has affected the community's social cohesion leaving the promise of "on-site transformation" unfulfilled. The future of the area remains undefined and continues to be a subject of ongoing debate.

IV. CONCLUSION

The implementation process of Bayraklı Urban Transformation and Development Project provides as a critical example for urban planning in Turkiye. It demonstrates that urban transformation is not just a renewal process. Rather than being limited to physical intervention, urban transformation also involves social relations, everyday practices, and inclusion. The stagnation in implementing the transformation of the risky housing stock over the last decade is not just about financial or administrative constraints. It is linked to a lack of social inclusion. In this sense, planning outcomes have been shaped as much by social dynamics as by institutions. The lack of integration of the local community into the decision-making process, eventuated in resistance and conflict.

Planning authorities focused on the visual and economic integration of the area with the New City Center, while the social conditions and participation of existing residents were ignored. This planning prioritized large-scale redevelopment over the everyday needs of local communities. The study shows that the disconnection between municipal plans and residents' urban realities has been one of the main reasons for the stagnation of the project. In addition, lack of coordination between differing levels of government and financial constraints identified in official reports have increased uncertainty in the project.

As a result, the transformation process has been put on hold for more than ten years. Under such a long period of uncertainty, residents continue to live in unsafe conditions without a clear timeline or outcome. In this context, the resistance observed in the neighborhoods of Alpaslan, Cengizhan, and Fuat Edip Baksı can be understood as a reaction against possible displacement and gentrification. These neighborhoods are social environments shaped by established social networks, collective memory and everyday practices, rather than mere sites for renewal.

From this perspective, the Bayraklı case highlights ongoing debates on participatory planning and displacement. Objections of the residents to relocation and contract-based redevelopment reflect their need to remain in place and to be included in decision-making processes. This represents the role of participation in shaping the urban transformation strategies. The situation clearly indicates how urban transformation reshapes social relations and everyday life. When social dimensions are overlooked, transformation processes may be faced with difficulties moving forward. The situation strengthens the idea that technical planning solutions alone are insufficient to address complex urban realities.

In this sense, the Bayraklı case shows that urban transformation processes limited to physical redevelopment remain insufficient when social dynamics are not addressed adequately. Long-term uncertainty, resident resistance, and implementation delays have all been caused by the lack of participatory planning mechanisms. Because of this, urban renewal in Bayraklı has been a contested process affected by issues of social sustainability, participation, and displacement

rather than just a technical one. Social sustainability requires a procedural justice, where residents are active decision-makers rather than passive observers. A transformation model that disregards the existing community risks replacing a vibrant neighborhood with a a sterile environment that lacks social cohesion. The case emphasizes the fundamentality of considering community bonds and social structures in urban transformation processes, especially in places with long-established populations.

BIBLIOGRAPHY

1. Akurgal, E. (2002). *Ancient Civilizations and Ruins of Turkey*. Eski İzmir, TTK Yayınları.
2. Lefebvre, H. (1991). *The Production of Space*. Blackwell, Oxford.
3. Lefebvre, H. (2003). *The Urban Revolution*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
4. Smith, N. (1996). *The New Urban Frontier: Gentrification and the Revanchist City*. Routledge, London.
5. Ataöv, A., & Osmay, S. (2007). *Türkiye'de Kentsel Dönüşüme Yöntemsel Bir Yaklaşım.* METU Journal of Faculty of Architecture, Ankara.
6. Brenner, N. (2009). What is critical urban theory? *City*, 13(2-3), 198-207.
7. Colantonio, A. (2009). *Social Sustainability: A Review and Critique of Traditional and Emerging Themes*. Oxford Institute for Sustainable Development, Oxford.
8. Dempsey, N., Bramley, G., Power, S., & Brown, C. (2011). *The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability*. Sustainable Development, 19(5), 289-300.
9. Genç, F. N. (2008). *Türkiye'de Kentsel Dönüşüm: Mevzuat ve Uygulamaların Genel Görünümü.* Yönetim ve Ekonomi, 15(1), Manisa.
10. Harvey, D. (2008). *The right to the city*. New Left Review, 53, 23-40.
11. Kalaycı Önaç, A., & Birişçi, T. (2020). *Kentsel dönüşüme karşı tutum ve yere bağlılık ilişkisi: Bayraklı-İzmir örneği*. Megaron, 15(1), 51-62.
12. Karadağ, A., & Mirioğlu, G. (2012). *Bayraklı Kentsel Dönüşüm Projesi Üzerine Coğrafi Değerlendirmeler*. International Journal of Geography and Geography Education, 36, 106-122.
13. Marcuse, P. (1985). *Gentrification, Abandonment, and Displacement: Connections, Causes, and Policy Responses in New York City*. Journal of Urban and Contemporary Law, 28.
14. Marcuse, P. (2009). *From critical urban theory to the right to the city*. City, 13(2-3).
15. Ozbek Sonmez, I. (2009). Re-emergence of Suburbia: The Case of Izmir Turkey. *European Planning Studies*, 17(5).
16. Portes, A. (1998). *Social capital: Its origins and applications in modern sociology*. Annual Review of Sociology, *24*, 1–24.
17. Slater, T. (2009). Missing Marcuse: On gentrification and displacement. *City*, 13(2-3).
18. Erdem, Ü. (2019). *İzmir'de Kentsel Dönüşüm ve Yeni Kentsel Merkez: Bayraklı Örneği*. Unpublished Master's Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir.
19. Kalaycı Önaç, A. (2017). *Kentsel Dönüşüm Sürecinde Kentsel Peyzaj Değerleri Analizi; İzmir-Bayraklı Kentsel Dönüşüm Alanı Örneği*. Unpublished Ph.D. Thesis, Ege University, İzmir.
20. Özkan, M. (2019). *Urban Regeneration Projects in Squatter Settlements, the Case of İzmir, Bayraklı Urban Regeneration Project*. Unpublished Master's Thesis, İzmir Katip Çelebi University, İzmir.
21. Türkmen Çelebi, B. (2018). *Urban Transformation in İzmir/Bayraklı District*. Unpublished Master's Thesis, İzmir Institute of Technology, İzmir.
22. Bayraklı Municipality. (2015). *Bayraklı Urban Transformation and Development Project Reports*, İzmir.
23. Bayraklı Municipality. (2019). *2020-2024 Strategic Plan*, İzmir.

24. İzmir Metropolitan Municipality (İzBB). (2012). *Bayraklı Urban Transformation and Development Project*, İzmir.

25. Chamber of Architects (TMMOB). (2019). *Kentsel Dönüşüm Anket Çalışması Raporu-2: Bayraklı*, İzmir.

26. United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations, NY.

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

KAPALI ALAN WiFi KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİNDE LOG-MESAFE YOL KAYBI MODELİ VE GAUSS SÜREÇ REGRESYONU YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Dr. Öğretim Üyesi Recep ÇAKIR

Pamukkale Üniversitesi, Çameli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü,

rcakir@pau.edu.tr - 0000-0002-2395-4769

ÖZET

Kapalı alanlarda konum belirleme uygulamaları; acil durum yönetimi, akıllı bina sistemleri, otonom sistemler gibi birçok alanda ihtiyaç haline gelmiştir. Mevcut kapalı alan konum belirleme teknolojileri yüksek doğruluk sunsa da ek donanım ihtiyacı ve maliyet gibi kısıtlamalara sahiptir. WiFi teknolojisi ise yaygın altyapısı ve kullanıcı cihazları tarafından doğal olarak desteklenmesi sayesinde düşük maliyetli ve erişilebilir bir alternatif sunmaktadır. Ancak WiFi tabanlı konum belirlemede kullanılan RSSI değerleri, çoklu yol (multipath) etkileri ve çevresel koşullar nedeniyle kararsız bir yapı sergilemektedir. Bu çalışmada, kapalı alan WiFi konum belirleme sistemlerinde mesafe tahmini amacıyla Logaritmik Mesafe Yol Kaybı Modeli (LDPLM) ve Gauss Süreç Regresyonu (GPR) yöntemlerinin performansı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Deneyler, Pamukkale Üniversitesi Çameli Meslek Yüksekokulu koridorunda; çoklu yol etkisinin sınırlı olduğu normal ortam ile yansımanın yoğun olduğu camekânlı ortamda gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 5 GHz frekansında, tek bir WiFi erişim noktası kullanılarak yapılmış; 3 *m*, 5 *m* ve 8 *m* mesafelerden toplanan RSSI verileriyle modeller eğitilmiştir. Test aşamasında ise 2.8–7.6 *m* aralığındaki farklı mesafelerde elde edilen WiFi sinyallerinin RSSI ortalamaları kullanılmıştır. Sonuçlar, GPR yönteminin her iki ortamda da LDPLM'ye kıyasla daha düşük Ortalama Mutlak Hata (MAE) değerleri ürettiğini göstermiştir. Özellikle üstel çekirdek fonksiyonuna sahip GPR modeli, normal ortamda 1.26 *m* ve yansımalı ortamda 1.54 *m* MAE ile en doğru sonuçları vermiştir. Elde edilen sonuçlar, GPR'nin çoklu yol etkilerinin baskın olduğu kapalı alanlarda mesafe kestirim doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : WiFi Konum Belirleme, RSSI Konum Belirleme, Log-Mesafe Yol Kaybı Modeli, Gauss Süreç Regresyonu, Çoklu Yol Etkisi, Ölçme.

1. GİRİŞ

Kapalı alanlarda; acil tahliye ve kurtarma durumları, otomatik hareket becerisi (sürüş, servis, takip vb.), akıllı sistemlerin (depo, kampüs, ev…) tasarımı gibi alanlarda konum belirleme uygulamaları en önemli bileşenlerden biridir [1]. Konum belirleme uygulamalarını gerçekleştirmek için kullanılan; ultra geniş bant (UWB), Bluetooth, radyo frekansı ile tanımlama (RFID), ultrasonik ve ZigBee gibi çeşitli kapalı alan konumlandırma teknolojileri mevcuttur [2]. Bu teknolojilerin çoğu konum belirleme uygulamaları için yüksek doğruluk sunsa da özel donanım kurulumu, çok sayıda ekipman gereksinimi veya yüksek maliyet gibi kısıtlamalara sahiptir [3]. WiFi teknolojisi ise halihazırda var olan yaygın altyapısı (kamusal alanlarda) ve kullanıcı cihazları (akıllı telefon, akıllı saat, tabletler vb.) tarafından geniş çapta desteklenmesi sayesinde diğer kapalı alan konumlandırma çözümlerinden ayrılmaktadır [4,5]. WiFi teknolojisiyle kapalı alanlarda konum belirleme uygulamaları, konumu bilinen WiFi erişim noktalarından oluşan bir ağ yardımıyla mobil kullanıcının konumunun belirlenmesini esas alır. Bu süreç, WiFi erişim noktalarından alınan sinyallerle gerçekleştirilir. WiFi sinyallerinin değerlendirilmesinde deneysel testlerle sinyal yayılım (yol kaybı) modellerinin bir kombinasyonunu kullanılır [6]. WiFi sinyallerinin, alınan sinyalin güç göstergesi (RSSI) değerleri kullanılarak erişim noktalarıyla mobil kullanıcının arasındaki mesafe tahmin edilir. Daha sonra bu mesafe veya sinyal değeri konum belirleme algoritmalarıyla (açı veya mesafe tabanlı üçgenleme, parmak izi) değerlendirilerek mobil kullanıcının konumu belirlenir [7]. WiFi sinyallerinin RSSI değenlerin kullanarak konum belirlemenin de sınırlamaları mevuttur. Özellikle radyo sinyal yayılım kanalının; duvarlar ve engellerin neden olduğu yansıma ve saçılmadan kaynaklanan etkiler ile kapalı alanlardaki çevre koşullarındaki değişimin neden olduğu yüksek çoklu yol (multipath) etkilerinden kaynaklı olarak son derece kararsız ve zaman içinde değişken olmasıdır [8]. Bu çalışmada aynı erişim noktasından elde edilen veriler ışığında, çoklu yol etkisinin sınırlı olduğu ortam (normal ortam) ile bu etkinin yoğun hissedildiği camekânlı ortamda (yansımalı ortam) elde edilen sinyallerin mesafe karşılıkları kıyaslanmıştır. Erişim noktası ile kullanıcı arasındaki mesafe; Logaritmik Yol Kaybı Modeli (LDPLM) ve Gauss Süreç Regresyonu (GPR) tahmin yöntemleri kullanılarak hesaplanmış, elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca çalışmada mesafe bilgisi üç boyutlu (3D) olarak ele alınmış ve tüm değerlendirmeler 5 GHz frekansındaki WiFi sinyalleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında, farklı sinyal yayılım karakteristiklerini karşılaştırmalı olarak inceleyebilmek amacıyla Pamukkale Üniversitesi Çameli Meslek Yüksekokulu koridoru test alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanında belirlenen tek erişim noktası, normal ortam ile yansımalı ortam koşullarına sahip alanın yaklaşık olarak ortasında bulunmaktadır. Şekil 1'de çalışma alanı gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı.

2.2. Logaritmik Yol Kaybı Modeli (LDPLM)

Verici ile kullanıcı arasındaki mesafeyi belirlemek için sinyalin RSSI değerlerinden yararlanılır. Sinyal vericiden çıkıp alıcıya ulaşıncaya kadar güç kaybına uğrar. Bu kayıp sinyal yayılım modelleri ile ifade edilir. Alıcıda ölçülen yüksek RSSI değeri verici ile kullanıcı arasındaki mesafenin daha az olduğu anlamı taşır [9,10]. LDPLM Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$RSSI = -10n.\log(d) + A \tag{1}$$

Eşitlik 1 düzenlenirse Eşitlik 2 elde edilir.

$$d = \frac{A-RSSI}{10n} \tag{2}$$

Eşitlik 2'de d, alıcı ile kullanıcı arasındaki mesafeyi; A, belirli mesafeler için alınan referans RSSI değerini; n ise ortam koşullarına göre değişken olup sinyal yayılım katsayısını temsil eder [11]. A ve n değerleri ortam koşullarına göre konum belirleme uygulamalarının öncesinde yapılacak saha çalışmasında da belirlenebilir [12,13].

2.3. Gauss Süreç Regresyonu (GPR)

WiFi sinyallerinin konum belirleme amaçlı kullanımında Gauss dağılımının öne çıktığı çalışmalar mevcuttur [14]. WiFi tabanlı konum belirlemede, erişim noktalarından çıkan WiFi sinyallerinin RSSI değerleri alınarak oluşturulan eğitim seti için sinyal gücünün konumsal dağılımının tahmin edilmesi temel amaçtır. Eğitim setindeki girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi tanımlama GPR'nin temel amacıdır [15]. GPR modelinde olasılık dağılımının kovaryans matrisi $k(x, x')$ girdi değişkenleri arasındaki korelasyonu tanımlamaktadır. Ancak bu kovaryans matrisini doğrudan hesaplamak oldukça güçtür. Bu nedenle hesaplama yükünü (karmaşıklığını) aşmak için bu matrisin yerine basit çekirdek fonksiyonlardan yararlanılır [16]. Bu çalışmada Matérn ve üstel çekirdek fonksiyonları kullanılmıştır. Matérn fonksiyonun matematiksel ifadesi Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$k = (x, x') = \sigma^2 \frac{2^{1-v}}{\Gamma(v)} \left(\sqrt{2v}\ \frac{|x-x'|}{\rho}\right)^{v} K_v\left(\sqrt{2v}\ \frac{|x-x'|}{\rho}\right) \tag{3}$$

Eşitlik 3'te σ, sinyalin standart sapması; Γ, gama fonksiyonu; K_v, modifiye edilmiş Bessel fonksiyonunun ikinci türüdür [17]. Üstel fonksiyonun matematiksel ifadesi Eşitlik 4'te verilmiştir.

$$k = (x, x')=\sigma^2\exp(\frac{-(x-x')^2}{2l^2}) \quad (4)$$

Eşitlik 4'te σ ve l ölçeklendirme katsayısıdır. σ, kovaryansın büyüklüğünü; l ise kovaryansın yayılımını kontrol eder [16].

2.4. Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında elde edilen veriler, Matlab yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Verilerin değerlendirilmesi ise Ortalama Mutlak Hata (MAE) ile gerçekleştirilmiştir. MAE denklemi Eşitlik 5'te gösterilmiştir.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i| \quad (5)$$

Eşitlik 5'te n; toplam veri sayısı, y_i; gerçek mesafe, $\hat{y}_i$ ise tahmin edilen mesafe değeridir.

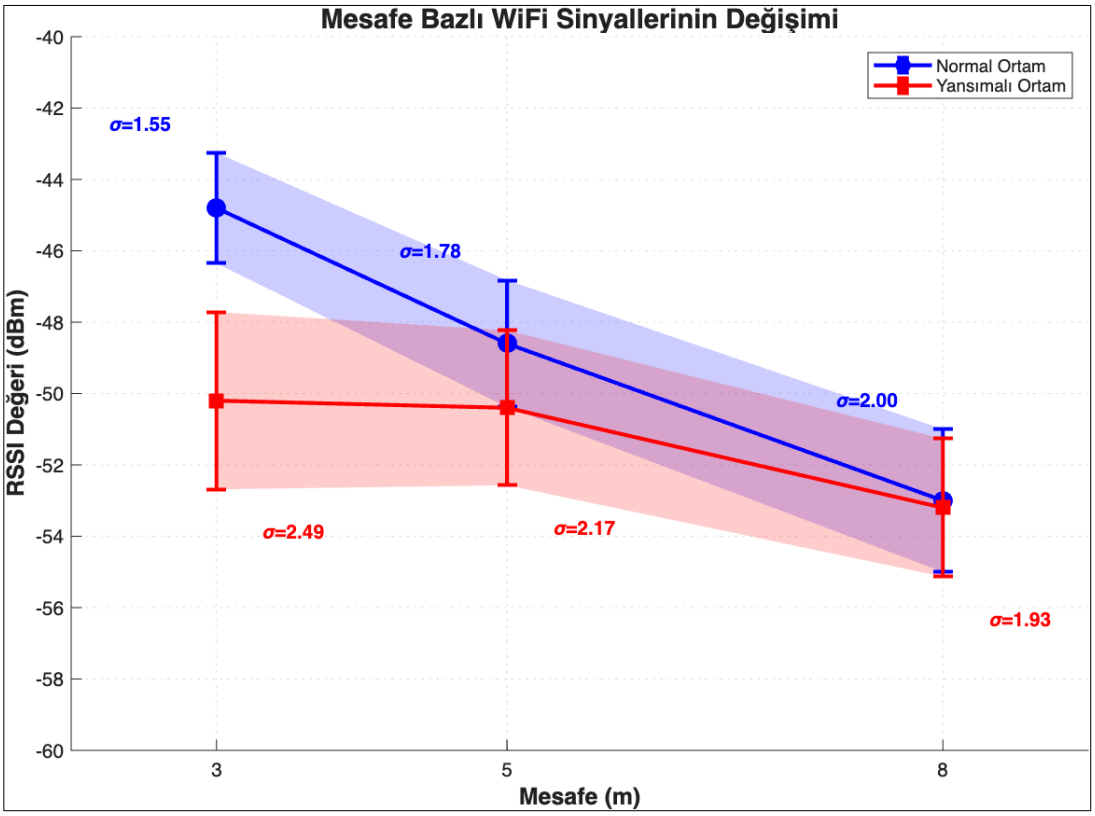
2.5. Test aşaması

İlk olarak erişim noktası ile kullanıcı arasındaki mesafeyi belirlemek için her iki test ortamında ortak bir erişim noktası kullanılarak 3 *m*, 5 *m* ve 8 *m* mesafelerden RSSI verileri toplanmıştır. Ölçümler sırasında erişim noktası 3.20 *m* yüksekliğe sabitlenmiş; sinyal kayıtları ise akıllı telefon yardımıyla yerden 1.50 *m* yükseklikteki alıcı seviyesinden yapılmıştır. Her bir noktada 20 saniye boyunca beklenilmiş ve 10 adet RSSI değeri kaydedilmiştir.

Daha sonra, her iki test ortamında erişim noktasına 2.8 *m* ile 7.6 *m* arasında değişen 10 farklı ölçüm noktasında toplanan RSSI verileri kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Her bir noktada elde edilen 5 RSSI ölçümünün ortalaması alınmış ve bu ortalama değerlerin mesafe karşılıkları hem LDPLM hem de GPR yöntemi ile hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Her iki test ortamında ortak bir erişim noktası kullanılarak 3 *m*, 5 *m* ve 8 *m* mesafelerden RSSI verileri toplanmıştır. Toplanan sinyallerin RSSI değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

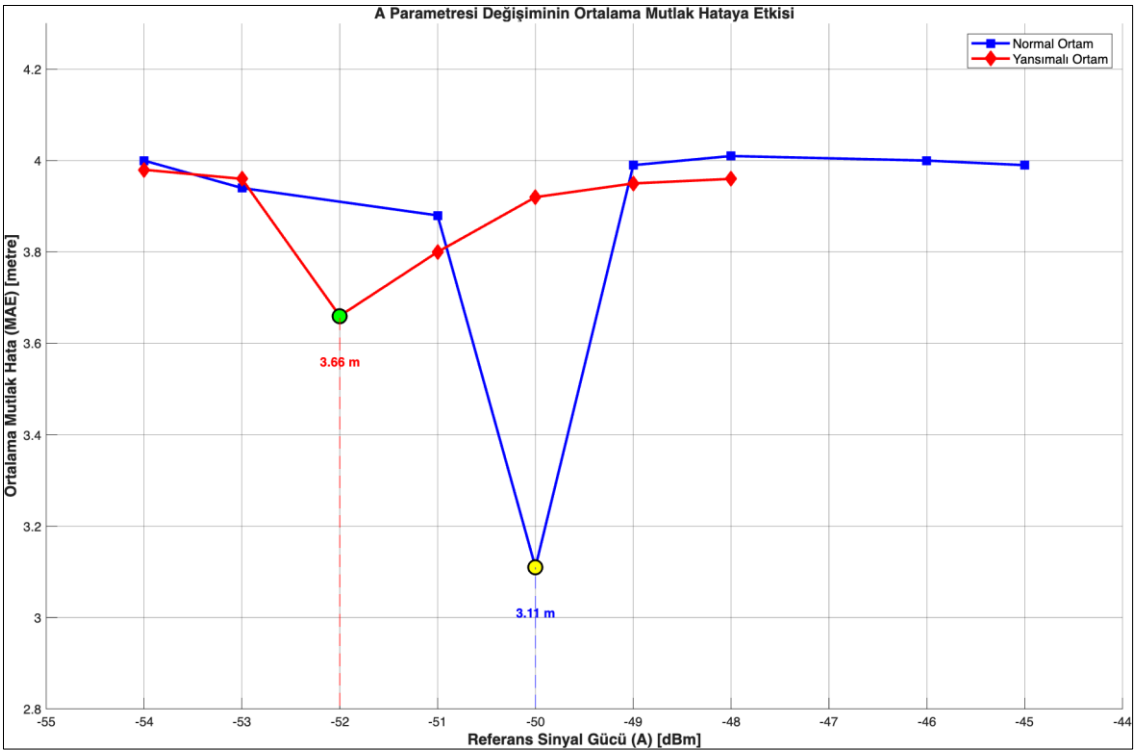


Şekil 2. Çalışma alanında toplanan WiFi sinyallerinin RSSI değerleri.

Şekil 2 incelendiğinde, normal ortamda sinyal gücünün mesafe arttıkça beklenen şekilde azaldığı görülmektedir. Yansımalı ortamda ise sinyal dalgalanmalarının belirgin biçimde daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, mesafe uzadıkça sinyal gücündeki genel zayıflamaya bağlı olarak bu dalgalanmaların da kademeli olarak azaldığı gözlemlenmektedir.

3.1. LDPLM Test Sonuçları

Her iki ortamda; erişim noktasına 3 *m*, 5 *m* ve 8 *m* mesafelerden toplanan RSSI sinyalleri, LDPLM' ye göre analiz edilmiştir LDPLM'nin matematiksel alt yapısında yer alan; belirli bir mesafe için referans RSSI değeri (A) ve çevresel koşullara bağlı olan sinyal yayılım parametresi (n), çalışma sahasından toplanan verilerle elde edilebilir [18]. Bu çalışmada da her bir ölçüm noktası için kaydedilen 10 RSSI değerinin aritmetik ortalaması alınmış ve elde edilen veriler Minimum Hata Karesel Ortalaması (MMSE) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar; normal ve yansımalı ortam için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Literatürde 1 *m* mesafesi için referans alınan *n* değeri, bu çalışmada yapılan deneysel optimizasyonlar sonucunda; sinyal yansımasının sınırlı olduğu ortamda 0.49, yansımalı ortamda ise 0.58 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin teorik beklentilerden farklılık göstermesi her iki ortamın merkezinde konumlandırılan erişim noktasına 1 *m* mesafeden alınan sinyallerin çevresel etkiler nedeniyle kararsız bir yapı sergilemesinden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı, sistemin tahmin performansını artırmak amacıyla ilgili katsayılar deneysel verilerle optimize edilerek güncellenmiştir. Şekil 3'te, A parametresindeki değişimlerin, 2.8 *m* ile 7.6 *m* aralığındaki test noktalarında gerçekleştirilen mesafe tahminlerinin doğruluğu (MAE) üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3. *A* değeri değişiminin MAE üzerindeki etkisi.

Şekil 3 incelendiğinde sınırlı sinyal yansımasına sahip ortamda *A* değeri -50 dBm ve test noktalarında erişim noktası ile kullanıcı arasındaki mesafelerin MAE değeri 3.11 *m*, yoğun yansımalı ortamda ise *A* değeri -52 dBm ve MAE değeri 3.66 *m* olarak elde edilmiştir.

3.2. GPR Test Sonuçları

Çalışmada kullanılan GPR modelinin eğitim süreci; 3 *m*, 5 *m* ve 8 *m* mesafelerde toplanan 10'ar adet RSSI sinyalinin aritmetik ortalamaları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Modelin genel performansını değerlendirmek amacıyla Matérn 3/2 ve üstel çekirdek fonksiyonları seçilmiş; test noktalarından alınan sinyal ortalamaları sisteme girdi olarak verilmiş ve mesafe tahminleri üretilmiştir. Böylece, farklı çekirdek fonksiyonlarının WiFi sinyalleri ile mesafe belirleme hassasiyeti doğruluğu üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çizelge 1'de GPR yöntemiyle belirlenen, test noktalarında erişim noktası ile kullanıcı arasındaki mesafelerin MAE değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 1. GPR yönteminin test noktalarındaki MAE değerleri (birim:m).

Çekirdek Fonksiyonu	Normal ortam	Yansımalı ortam
Matérn 3/2	1.41	1.56
Üstel	1.26	1.54

Çizelge 1 incelendiğinde; üstel çekirdek fonksiyonuna sahip GPR modelinin, her iki test senaryosunda da Matérn 3/2 fonksiyonuna göre daha düşük hata değeri ile daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, kapalı bir alanda WiFi sinyalleri kullanılarak LDPLM ve GPR yöntemlerine dayalı mesafe tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, GPR yönteminin her iki test ortamında da LDPLM'ye kıyasla belirgin bir üstünlük sağladığını göstermektedir. Sayısal veriler incelendiğinde; LDPLM için normal ortamda 3.11 *m* ve yansımalı ortamda 3.66 *m* olarak hesaplanan MAE değerlerinin, GPR (üstel çekirdek fonksiyonu) kullanımıyla sırasıyla 1.26 *m* ve 1.54 *m* seviyelerine gerilediği görülmüştür. Bu sonuç, GPR yönteminin normal ortamda yaklaşık %60, çoklu yol yansımalarının bulunduğu ortamda ise yaklaşık %58 oranında iyileştirme sağladığını ortaya koymaktadır. Özellikle kapalı alan konum belirleme uygulamalarında en temel sınırlama olan yansıma ve sinyal dalgalanmaları, GPR yönteminin doğrusal olmayan karmaşık yapıları modelleme yeteneği sayesinde önemli ölçüde minimize edilmiştir. Bununla birlikte ortamın dinamik yapısı, sinyal toplama yönü ve doğal koşulların (örneğin sıcaklık, basınç) değişkenliği gibi birçok parametre mesafe tahmin doğruluğunu dolayısıyla konum belirleme doğruluğunu etkilemektedir. Gelecek çalışmalarda, GPR modelinin Kalman Filtresi veya Parçacık Filtresi gibi sinyal işleme algoritmalarıyla hibrit bir yapıda kullanılması ve bu tür parametrelerin de dikkate alınmasıyla kestirim doğruluğunun daha da artırılabileceği, ayrıca gerçek zamanlı takip sistemleri için daha kararlı bir altyapı sunabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Bi, J., Zhao, M., Yao, G., Cao, H., Feng, Y., Jiang, H., & Chai, D. (2023). PSOSVRPos: WiFi indoor positioning using SVR optimized by PSO. Expert Systems with Applications, 222, 119778. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119778.

[2] Zhang, Z., Du, H., Choi, S., & Cho, S. H. (2022). TIPS: Transformer based indoor positioning system using both CSI and DoA of WiFi signal. IEEE Access, 10, 111363-111376. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3215504.

[3] Cao, H., Wang, Y., Bi, J., Zhang, Y., Yao, G., Feng, Y., & Si, M. (2024). LOS compensation and trusted NLOS recognition assisted WiFi RTT indoor positioning algorithm. Expert Systems with Applications, 243, 122867. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122867.

[4] Feng, X., Nguyen, K. A., & Luo, Z. (2024). A review of open access wifi fingerprinting datasets for indoor positioning. IEEE Access. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3496561.

[5] Feng, X., Nguyen, K. A., & Luo, Z. (2022). A survey of deep learning approaches for WiFi-based indoor positioning. Journal of Information and Telecommunication, 6(2), 163-216. https://doi.org/10.1080/24751839.2021.1975425.

[6] Shang, S., & Wang, L. (2022). Overview of WiFi fingerprinting-based indoor positioning. Iet Communications, 16(7), 725-733. https://doi.org/10.1049/cmu2.12386.

[7] Bonthu, B., & Mohan, S. (2023). Combining Wi-Fi Fingerprinting and Pedestrian Dead Reckoning to Mitigate External Factors for a Sustainable Indoor Positioning System. Sustainability, 15(14), 10943. https://doi.org/10.3390/su151410943

[8] Yu, D., & Li, C. (2021). An accurate WiFi indoor positioning algorithm for complex pedestrian environments. IEEE Sensors Journal, 21(21), 24440-24452. https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3113376.

[9] Grgić, K., Balić, L., Križanović, V., & Žagar, D. (2022, October). An example of indoor positioning possibility using wifi network and mobile phone. In 2022 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST) (pp. 355-359). IEEE. https://doi.org/10.1109/SST55530.2022.9954757.

[10] Çakır, R., Tanrıverdi, M., Sarıkaya, B., … Şentürk, F. (2024). KAPALI ALANDA BEACON TABANLI NAVİGASYON UYGULAMASI. Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi, 12(1), 118-131. https://doi.org/10.21923/jesd.1271498.

[11] Tilwari, V., Pack, S., Maduranga, M. W. P., & Lakmal, H. K. I. S. (2024). An improved wi-fi rssi-based indoor localization approach using deep randomized neural network. IEEE Transactions on Vehicular Technology. https://doi.org/10.1109/TVT.2024.3437640.

[12] Çakır, R., & Doğanalp, S. (2024). Beacon Tabanlı Mesafe Bilgisinin Ortam Şartlarına Göre Belirlenerek Üçgenleme Algoritmasıyla Test Edilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(3), 650-659. https://doi.org/10.35414/akufemubid.1389005.

[13] Çakır, R., & Doğanalp, S. (2025). Beacon mesafe değerlerinin ortam koşullarına göre polinom enterpolasyonu ve yapay sinir ağlarıyla belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(3), 351-356. https://doi.org/10.5505/pajes.2024.48079.

[14] Sun, Y., Liu, M., & Meng, M. Q. H. (2014, July). WiFi signal strength-based robot indoor localization. In 2014 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA) (pp.250-256). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICInfA.2014.6932662.

[15] Sun, W., Xue, M., Yu, H., Tang, H., & Lin, A. (2018). Augmentation of fingerprints for indoor WiFi localization based on Gaussian process regression. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 67(11), 10896-10905. https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2870160

[16] Dang, W., Liao, S., Yang, B., Yin, Z., Liu, M., Yin, L., & Zheng, W. (2023). An encoder-decoder fusion battery life prediction method based on Gaussian process regression and improvement. Journal of Energy Storage, 59, 106469. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106469.

[17] Dai, X., Andani, H. T., Alizadeh, A. A., Abed, A. M., Smaisim, G. F., Hadrawi, S. K., ... & Toghraie, D. (2023). Using Gaussian Process Regression (GPR) models with the Matérn covariance function to predict the dynamic viscosity and torque of SiO2/Ethylene glycol nanofluid: A machine learning approach. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 122, 106107. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106107.

[18] Çakır, R., Çiçekdemir, Ç., & Doğanalp, S. (2024). Çok katlı mekanların navigasyonu için bluetooth tabanlı Beacon teknolojisi: Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Örneği. Geomatik, 9(2), 156-163. https://doi.org/10.29128/geomatik.1378154.

TEMEL FORMLARDAN OLUŞAN MEKÂNLARIN İÇ MEKÂN AYDINLATMASI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra KILIÇTAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı
busrakilictass@gmail.com - ORCID ID: 0009-0008-0042-8185

Doç. Dr. Şensin YAĞMUR
Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü
sensina@yildiz.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-7975-6801

ÖZET

Görme eylemi, ışık aracılığıyla yapılabilen bir eylemdir. Işığın olduğu yerde insanlar nesneleri birbirinden ayırabilir, içinde bulunduğu mekânın özelliklerini algılayabilir, hatta hacmin neresinde olduğunu kavrayabilmektedir. Gündüzleri, güneşin sağladığı doğal aydınlatma ile görme eylemi ve buna bağlı olarak mekânın gerektirdiği fonksiyonlar bir noktaya kadar yerine getirilebilse de özellikle geceleri ve doğal aydınlatmanın yeterli olmadığı durumlarda yapay aydınlatma önem kazanmaktadır. Yapay aydınlatmanın doğru bir şekilde düzenlenmesi, hacim içinde gerçekleşecek olan işlevin de verimli bir şekilde yürütülebilmesi ile doğrudan ilgilidir. Aydınlatma tasarımını doğru bir şekilde yapmak için ise mekânın fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Aydınlatma üzerine yapılan çalışmalarda genel olarak kare gibi düzenli formlar ya da onun boyutsal farklılaşmasıyla oluşan dikdörtgen formlarının farklı hacim büyüklükleri ile aydınlatmanın nasıl değişeceği incelenmiştir. Yaşanan teknolojik gelişmelerle günümüzde tasarlanabilecek mekânsal formların sınırlaması bulunmamakta dik açılı, eğrisel, hatta dar açılarla iç mekânlar oluşturulabilmektedir. Buna paralel olarak bu çalışma kapsamında, kareye ek olarak, temel formlardan olan üçgen ve daireden oluşturulan 3 ayrı iç mekân, aynı hacim büyüklüğü, yükseklik ve yansıtma çarpanı kullanılarak Dialux Evo programında modellenmiştir. Bu hacimlerle dolaysız, dolaylı ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimleri kullanılarak oluşturulan senaryolarda 2 farklı yöntem kullanılarak aydınlık düzeyi, aydınlık dağılımının düzgünlüğü, kullanılacak aygıt sayısı ve enerji miktarı değerleri elde edilmiş ve farklı mekânsal formların bu aydınlatma parametrelerini nasıl etkilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Form, iç mekân, aydınlık düzeyi, aygıt sayısı, enerji kullanımı

1. GİRİŞ

Aydınlatma üzerine yapılan çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir. Işık, hayatın devamlılığını sağlayabilmek için gereken en önemli enerjilerden biri olduğundan dolayı zamanlar boyunca insanlar aydınlık ve karanlık gibi ışığın varlığı ya da yokluğu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Işığın aracı olduğu en önemli olaylardan biri de görmedir. Işığın gözün içerisinde yaptığı bazı biyolojik ve kimyasal değişmeler ile görme eylemi gerçekleşir. Görme her canlıda elektromanyetik spekturumun farklı aralığında gerçekleşir. Örneğin bazı kuş türleri insanların göremediği kızılötesi ışınları görebilmektedir (M.Groh, 2021). Bu farklılıklar canlıların neyi görüp neyi göremeyeceğini belirlemektedir.

Etrafımızda yaşanan şeyleri algılamamız, oturduğumuz sokağı, evimizin konumunu bilmemiz, hatta mutfak dolabının ilk rafında bulunan en sevdiğimiz kupanın yerini bilmemiz, büyük ölçüde görme duyusu ile ilgilidir. Görsel duyulanma, diğer duyulara oranla % 95 daha fazla etrafı algılamada etkilidir. Bu da iyi görme koşullarının sağlanmasının önemini ortaya koymaktadır. İyi görme koşullarının sağlanması ise görme eyleminin rahatça yapılması, iç mekânlarda doku, renk gibi özelliklerin doğru bir şekilde algılanması, hacim içinde yapılacak olan işlevin kolaylıkla gerçekleşmesine olanak sağlar (Sirel, 2007). Bu koşulların sağlanması da aydınlatma ile ilgili düzenlemelerin doğru bir şekilde yapılması ile mümkündür. Aynı zamanda aydınlatma düzenlerinin düzgün bir şekilde yapılması, kullanılacak enerji miktarını da azaltmaktadır. Türkiye'de kullanılan elektrik enerjisinin yaklaşık %20'si aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır (Öztürk, 2019) . Aydınlatma verimli şekilde düzenlenirse ciddi enerji tasarrufları da gerçekleştirilebilmektedir. Bu, sadece enerji alanında değil de çalışma verimi olarak da geri dönüş sağlayabilmektedir. Amerikada yapılan bir çalışmada, aydınlatmanın etkisi ile çalışma verinin %16 oranında arttırabildiği gözlemlenmiştir (Özkum, 2011).

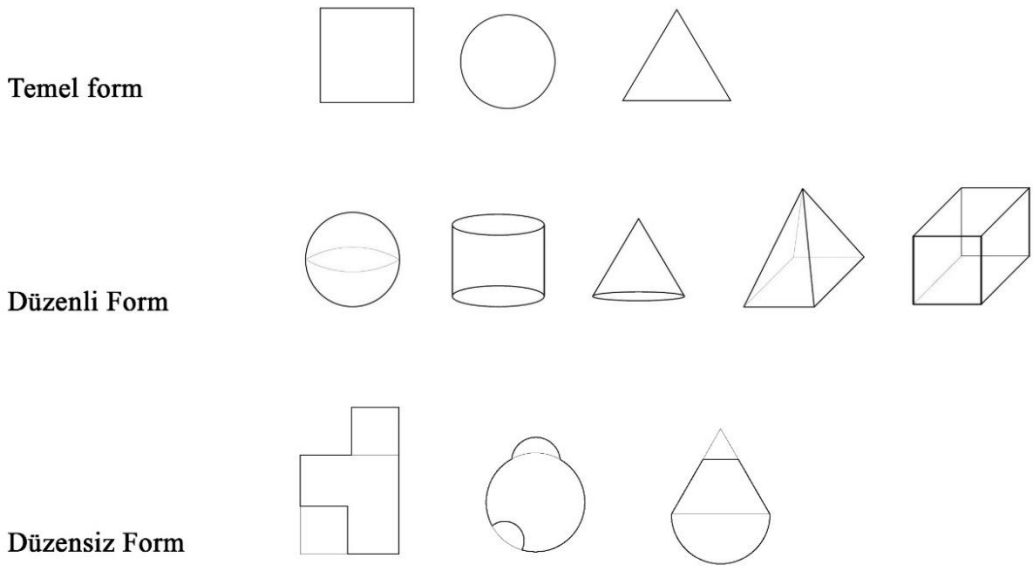
İç mekân aydınlatması, hacim içindeki yüzeylerin yansıtma çarpanları, hacim yüksekliği ve büyüklüğü, kullanılan aygıt türüne bağlı olarak değişmektedir (Küçükdoğu, 2005). Yapılan çalışmalarda genel olarak bu değişkenlerin farklılaştırılmasıyla kurgulanan senaryolar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. İncelemelerin çoğunda dikdörtgen kullanılmış, bu dikdörtgenden oluşan alanların boyutları değiştirilerek ya da yükseklik değişiklikleri ile farklılaşan değerler incelenmiştir. Oysa iç mekânlar sadece dikdörtgen gibi düzgün formlardan oluşmamaktadır. Tasarıma bağlı olarak hacimleri birbirinden ayıran doğrusal ya da eğrisel bölümlemeler ile bir çok farklı mekân formu oluşturulabilmektedir. Bu çalışma genelinde eğrisel formlara ya da dar açıyla oluşan hacimlere örnek olması açısından temel formlardan olan daire ve üçgen mekân üzerinde de incelemeler yapılıp elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. FORM TÜRLERİ VE TEMEL FORMLARDAN OLUŞTURULAN MEKÂNLAR

2.1. Form Türleri

Temel formlar, kolaylıkla algılayabildiğimiz, kaotik olmayan formlardır (Dinçer, 2005) . Daire, kare ve üçgen temel formlardandır. Daire, merkez bir noktadan eşit uzaklıkta bulunan noktalar kümesi ile oluşur. Üçgen formu ise bir kenarı üzerinde form alan ve tepe noktası olan bir biçimdir. Kare, birbirine eşit uzunluktaki kenarların 90°'lik açılarla birleşmesiyle elde edilen formdur ve dikdörtgen gibi formlara dönüşebilmektedir.

Düzenli formlar, küp, silindir, koni, piramit, küre gibi simetrik özelliklere sahip olan formlardır. Bu formlara ekleme ve eksiltme yapılsa bile düzenli olma halini koruyabilmektedir.
Düzensiz formlar ise gördüğümüzde direkt olarak bir form ile ilişkilendiremediğimiz, simetrik özellikleri olmayan, parçaları değişik düzenlerle bir araya gelerek ya da eksilterek oluşturulan formlardır (Ching, 2007).

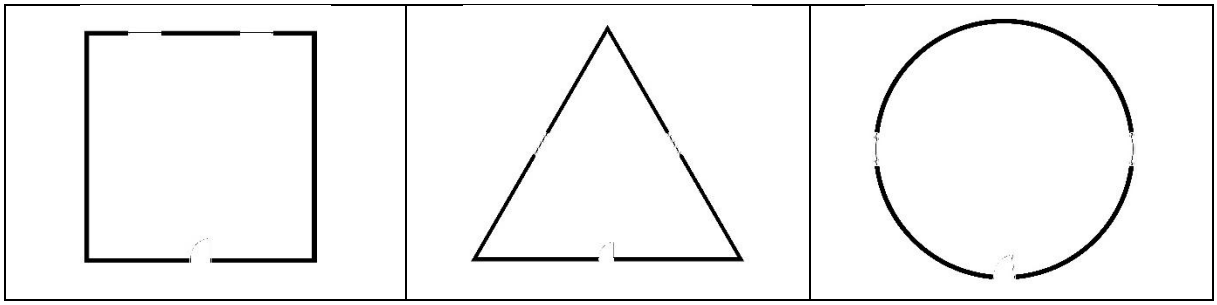


Görsel 1. Form Türleri

2.2. Temel Form Mekânları

Temel formlar olan kare, eşkenar üçgen ve daire kullanılarak üzerinde çalışmalar yapılacak 100 m²'lik 3 mekân oluşturulmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Temel Form İle Oluşturulan Mekânlar

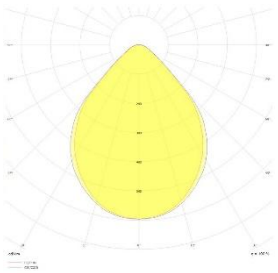
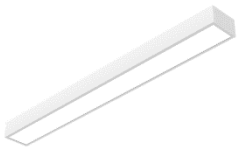
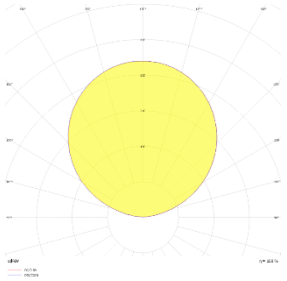
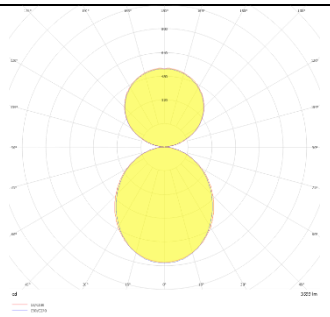


3. İÇ MEKÂN AYDINLATMASI PARAMETRELERİNİN TEMEL FORM MEKÂNLARINDA İNCELENMESİ

Temel formlar ile oluşturulan 3 iç mekân Dialux Evo 13.1 programında (DIAL GmbH, 2023) modellenerek dolaysız, dolaylı ve dolaylı-dolaysız olmak üzere 3 farklı aydınlatma biçimi yapan aygıt seçilerek senaryolar oluşturulmuştur. Mekânların her birinin alanı 100 m² olarak

tasarlanmış, hacim yüksekliği 3,5 m, aygıt tutturma yüksekliği 3 m, ve yansıtma çarpanları ise tavan 0,90, duvar 0,80 ve zemin 0,60 seçilerek mekân içinde yansıyan ışığın fazla olması hedeflenmiştir. Her bir mekân özelinde, bir ofiste çalışma işlevinde sağlanması gereken minimum değer olan 500 lx aydınlık düzeyi için gereken minimum aygıt sayısı, enerji tüketimi miktarları elde edilmek istenmiş ve aydınlık dağılımın düzgünlüğü değerleri de incelenmiştir (TS EN-12464-1, 2021). Seçilen aygıtların ışık akıları da mümkün olduğunca birbirine yakın seçilerek mekânsal farklılıklardan kaynaklanan değişimlerin daha doğru bir şekilde gözlemlenmesi amaçlanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Seçilen Aygıtların Özellikleri

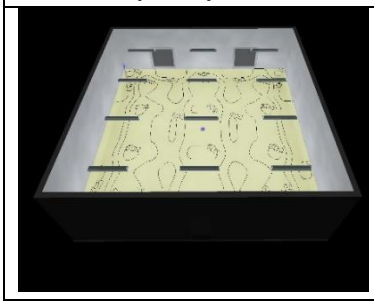
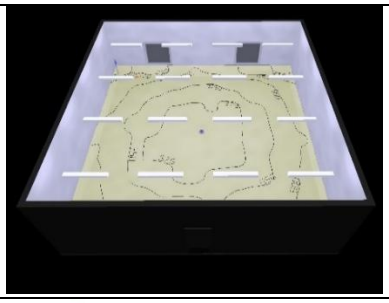
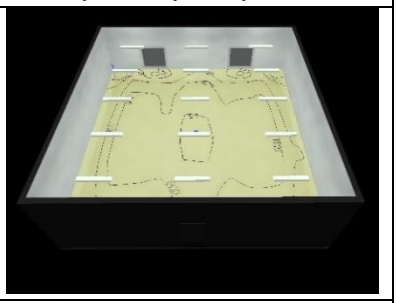
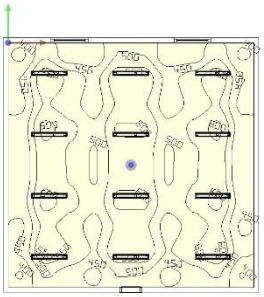
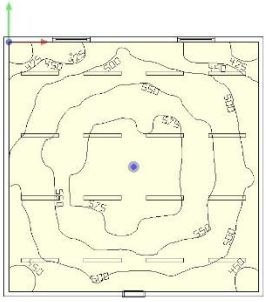
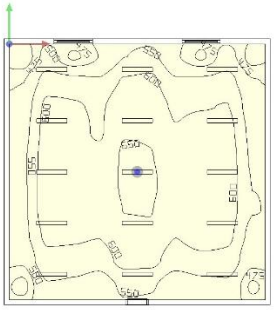
Dolaysız Aydınlatma	PHILIPS, FLEXBLEND, Surface Mounted SM340C LED35S/940 MLO PSU L1500 SM340C[1]			3500 lm
Dolaylı Aydınlatma	VARTON, Linear Lighting V1-R0-00573-30000-4003540 Gexus Line 1500x160 35W 4000K[2]			3500 lm
Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma	CURRENT, 6L-P-ID-STD-4-SOF-X-CX-35K-I040-D050[3]			3600 lm

3.1. Alanlar İçin Otomatik Düzenlemeler Yöntemi

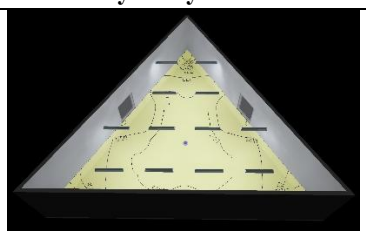
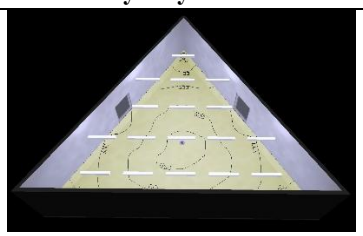
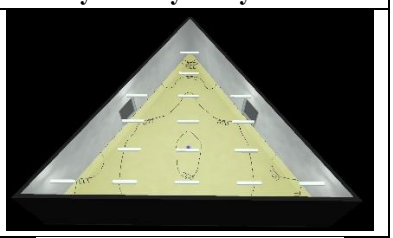
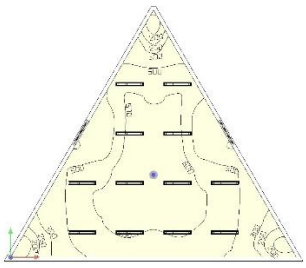
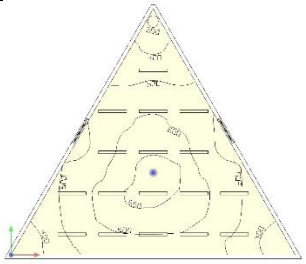
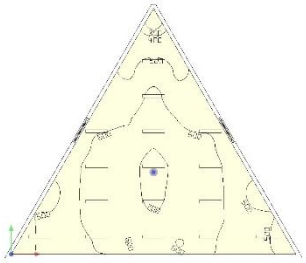
[1] Aydınlatma aygıtı görselleri Dialux Luminaire Finder üzerinden temin edilmiştir (Philips, 2023).
[2] Aydınlatma aygıtı görselleri Dialux Luminaire Finder üzerinden temin edilmiştir (Varton, 2023).
[3] Aydınlatma aygıtı görselleri Dialux Luminaire Finder üzerinden temin edilmiştir (Current, 2023).

Bu yöntemde Dialux Evo programında yer alan Alanlar İçin Otomatik Düzenlemeler kısmı her mekânda seçilerek hedef değer olan 500 lx aydınlık düzeyini elde eden değerler incelenmiştir.

Çizelge 3. Kare Mekânda Alanlar İçin Otomatik Düzenlemeler Yöntemi ile İle Elde Edilen Değerler

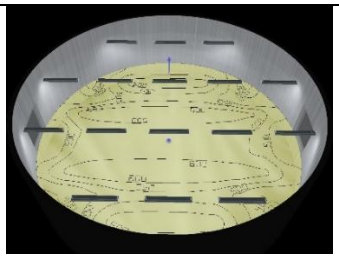
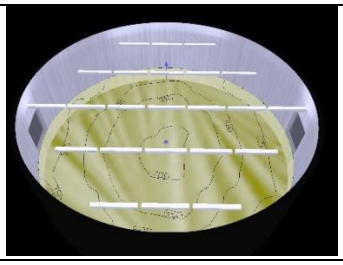
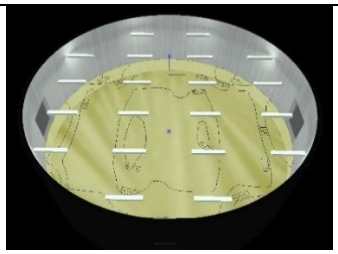
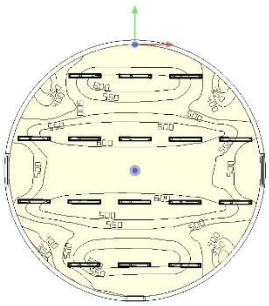
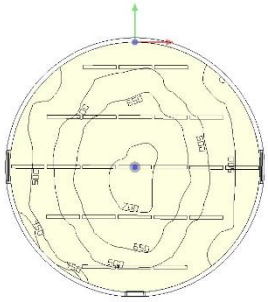
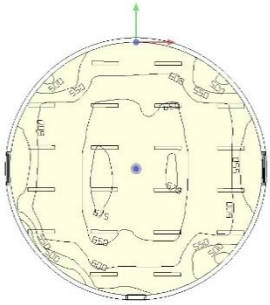
Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma
		
		
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 517 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 524 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 579 lx
Kullanılan Aygıt Sayısı: 12	Kullanılan Aygıt Sayısı: 16	Kullanılan Aygıt Sayısı: 15
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,75	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,78	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,78
Enerji Tüketimi: 757 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1121 kWh/a	Enerji Tüketimi: 961 kWh/a

Çizelge 4. Üçgen Mekânda Alanlar İçin Otomatik Düzenlemeler Yöntemi ile İle Elde Edilen Değerler

Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma
		
		
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 506 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 539 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 592 lx

Kullanılan Aygıt Sayısı: 12	Kullanılan Aygıt Sayısı: 17	Kullanılan Aygıt Sayısı: 16
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,34	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,54	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,54
Enerji Tüketimi: 757 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1191 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1025 kWh/a

Çizelge 5. Daire Mekânda Alanlar İçin Otomatik Düzenlemeler Yöntemi ile İle Elde Edilen Değerler

Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma
		
		
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 543 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 589 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 609 lx
Kullanılan Aygıt Sayısı: 16	Kullanılan Aygıt Sayısı: 23	Kullanılan Aygıt Sayısı: 20
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,61	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,76	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,80
Enerji Tüketimi: 1009 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1612 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1281 kWh/a

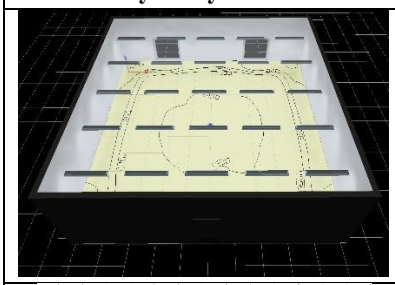
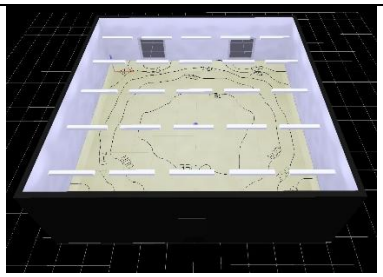
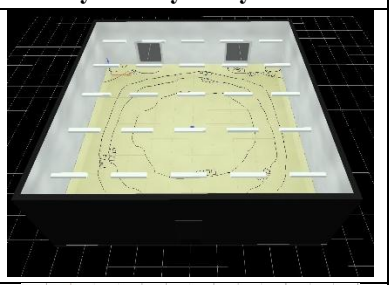
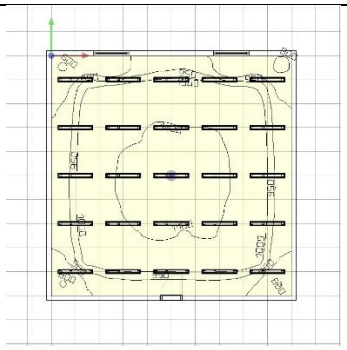
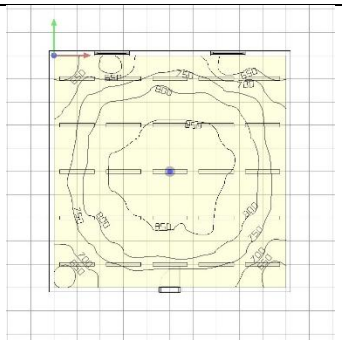
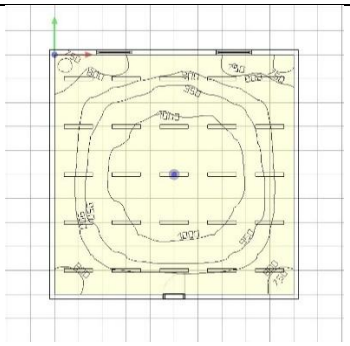
Alanlar İçin Otomatik Düzenlemeler Yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre aynı sayıda dolaysız aygıt kullanılarak kare ve üçgen mekânlarda benzer aydınlık düzeyi aralığı elde edilebilirken, aydınlık dağılımının düzgünlüğü üçgen mekânda kareye göre daha düşüktür. Bu yöntemde hedef kısmına 500 lx girilse de her sonuçta 500 lx üstü değer alınamamıştır, bu yüzden hedefler yükseltilerek 500 lx seviyesine getirilmeye çalışılmıştır. Özellikle üçgen ve daire mekânlarında bu sorunla karşılaşılmıştır. Üzerinde çalışan alana uyumlu olarak oluşturulan bu düzende hedef değerin altında kalan sonuçlarla ilgili yapılan çalışma sonucu, hedef arttırıldığında aygıt sayısının her zaman 1 aygıt arttırılmadığı, bazen 2 ya da 3 aygıt birden artışın olduğu görüldüğü için elde edilen aygıt sayılarının 500 lx'e ulaşmak için kullanılacak minimum aygıt sayısı olarak değerlendirilemeyeceği görülüp alternatif bir yöntemle daha çalışılmıştır.

3.2. 2 m'lik Aralıklarla Oluşturulan Grid Sisteme Göre Yapılan Aydınlatma Düzeni Yöntemi

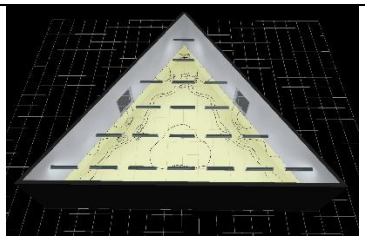
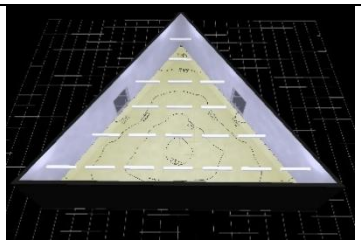
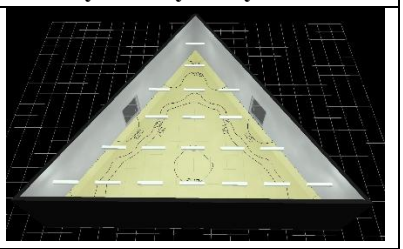
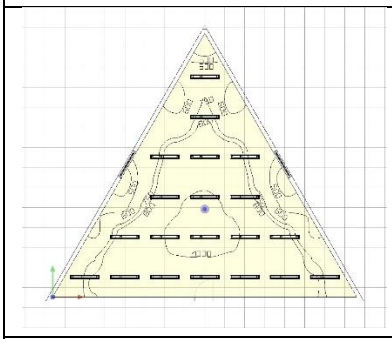
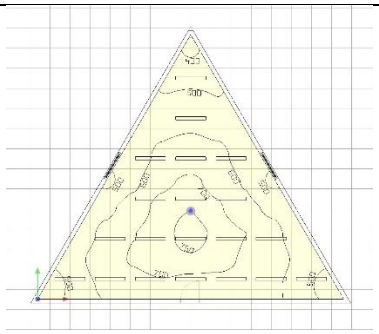
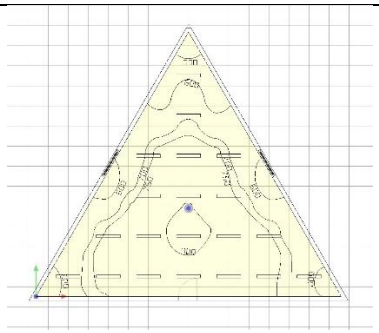
Bu yöntemde kare, üçgen ve daireden oluşan mekânlar 1 m'lik aralıklarla oluşturulan bir grid sisteme yerleştirilmiştir. Bu grid sistemde, ilk önce aygıt aralığı 2 m olacak şekilde mekân formunun kenarortayından başlayarak o mekânda yerleştirilebilecek maksimum sayıda aygıt yerleştirilmiş ve her aydınlatma biçimi ile elde edilen değerler incelenmiş, sonra aygıt sayısı

var olan düzende birer sıra aralıklarla eksilterek ya da eklenerek hedef olan 500 lx elde edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 6. Kare Mekânda Grid Sistemde 2m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeninde Maksimum Aygıt Kullanılarak Elde Edilen Değerler

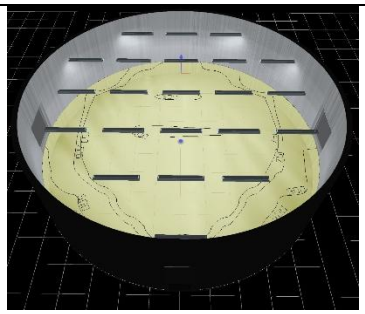
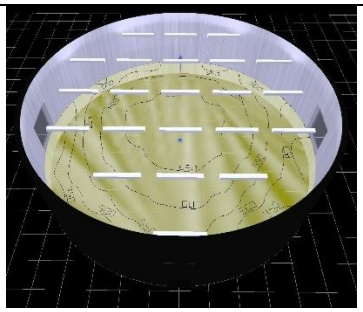
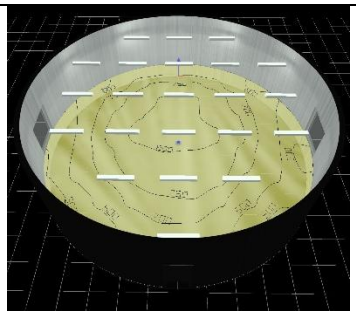
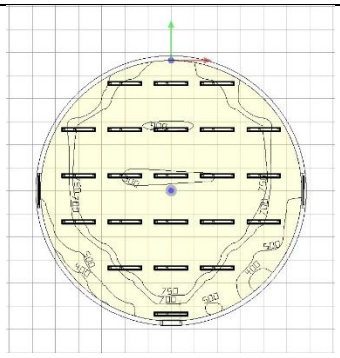
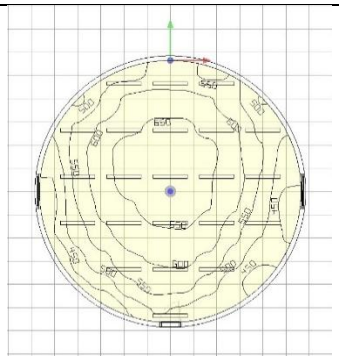
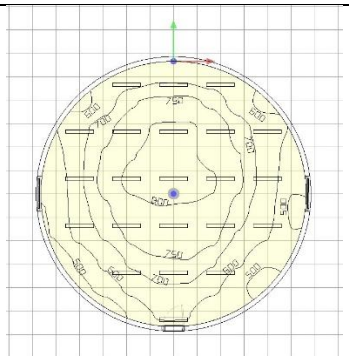
Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma
		
		
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 1015 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 779 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 927 lx
Kullanılan Aygıt Sayısı: 25	Kullanılan Aygıt Sayısı: 25	Kullanılan Aygıt Sayısı: 25
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,78	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,79	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,80
Enerji Tüketimi: 1577 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1752 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1602 kWh/a

Çizelge 7. Üçgen Mekânda Grid Sistemde 2m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeninde Maksimum Aygıt Kullanılarak Elde Edilen Değerler

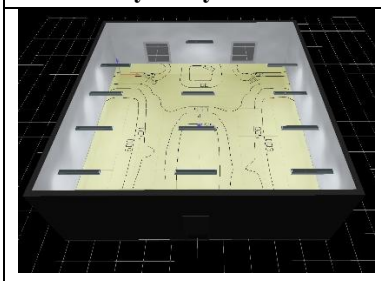
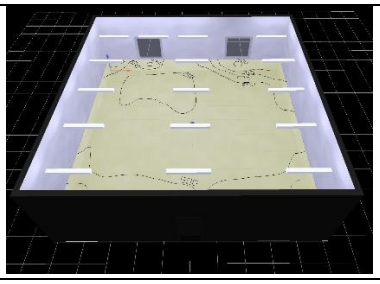
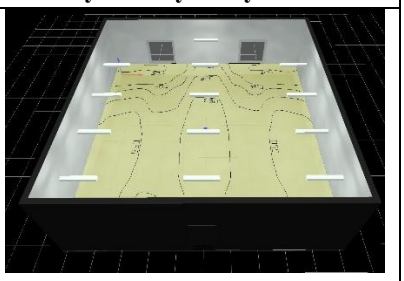
Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma
		
		
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 809 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 618 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 735 lx

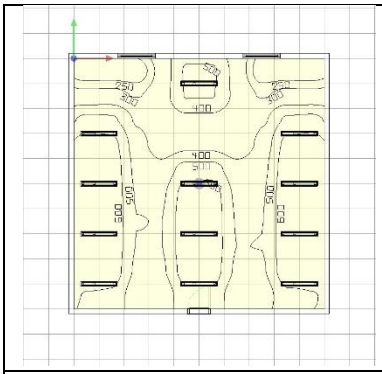
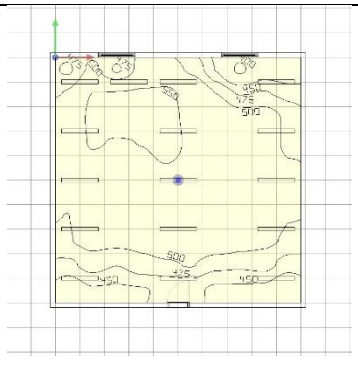
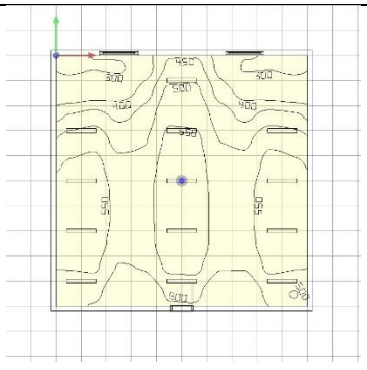
Kullanılan Aygıt Sayısı: 20	Kullanılan Aygıt Sayısı: 20	Kullanılan Aygıt Sayısı: 20
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,52	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,61	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,58
Enerji Tüketimi: 1261 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1401 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1281 kWh/a

Çizelge 8. Daire Mekânda Grid Sistemde 2m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeninde Maksimum Aygıt Kullanılarak Elde Edilen Değerler

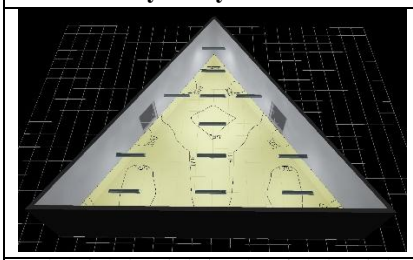
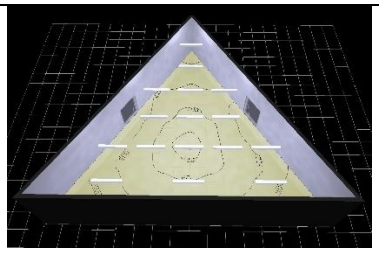
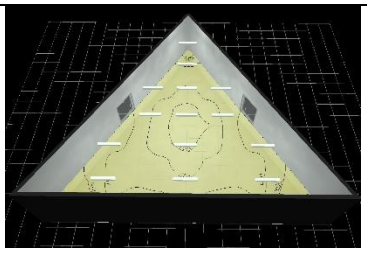
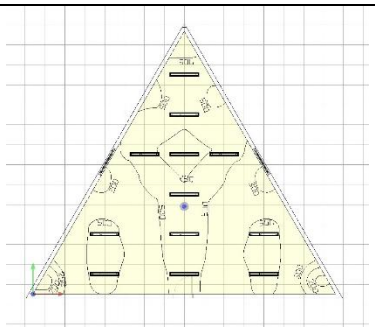
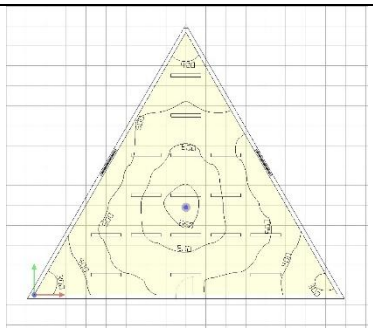
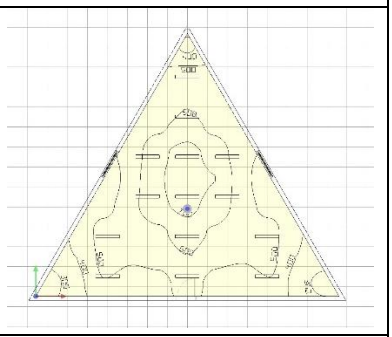
Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma
		
		
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 743 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 567 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 679 lx
Kullanılan Aygıt Sayısı: 22	Kullanılan Aygıt Sayısı: 22	Kullanılan Aygıt Sayısı: 22
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,45	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,73	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,66
Enerji Tüketimi: 1387 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1542 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1409 kWh/a

Çizelge 9. Kare Mekânda Grid Sistemde 2m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeninde Hedef Aydınlık Düzeyi 500 lx'ün Elde Edildiği Senaryo Değerleri

Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma
		

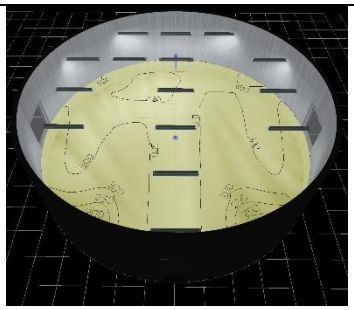
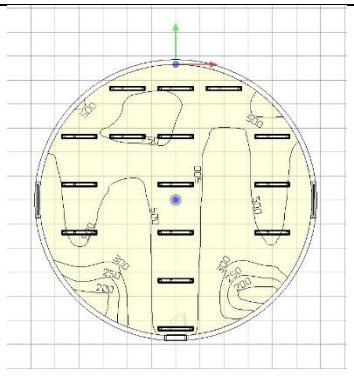
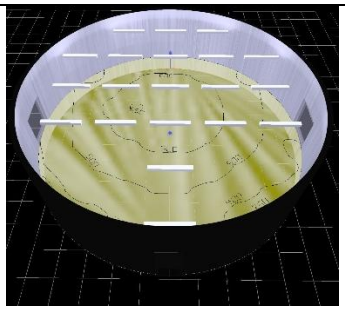
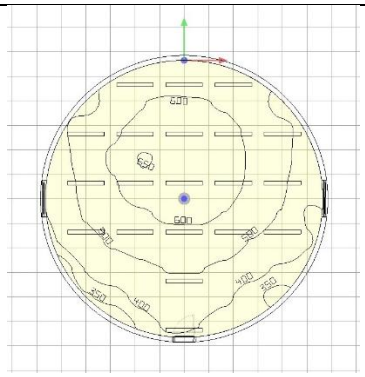
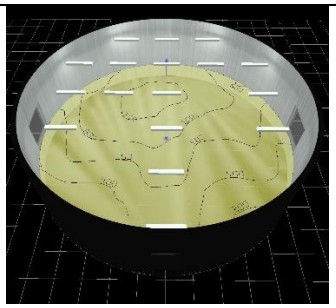
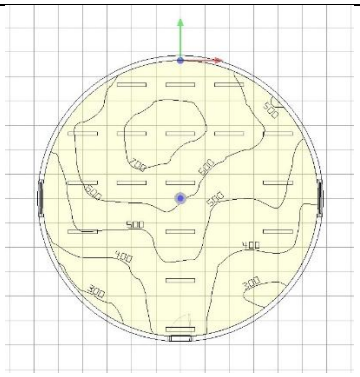
		
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 506 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 508 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 500 lx
Kullanılan Aygıt Sayısı: 12	Kullanılan Aygıt Sayısı: 16	Kullanılan Aygıt Sayısı: 13
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,42	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,78	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,58
Enerji Tüketimi: 757 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1121 kWh/a	Enerji Tüketimi: 833 kWh/a

Çizelge 10. Üçgen Mekânda Grid Sistemde 2m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeninde Hedef Aydınlık Düzeyi 500 lx'ün Elde Edildiği Senaryo Değerleri

Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma
		
		
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 501 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 509 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 529 lx
Kullanılan Aygıt Sayısı: 12	Kullanılan Aygıt Sayısı: 16	Kullanılan Aygıt Sayısı: 14
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,37	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,55	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,49
Enerji Tüketimi: 757 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1121 kWh/a	Enerji Tüketimi: 897 kWh/a

Çizelge 11. Daire Mekânda Grid Sistemde 2m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeninde Hedef Aydınlık Düzeyi 500 lx'ün Elde Edildiği Senaryo Değerleri

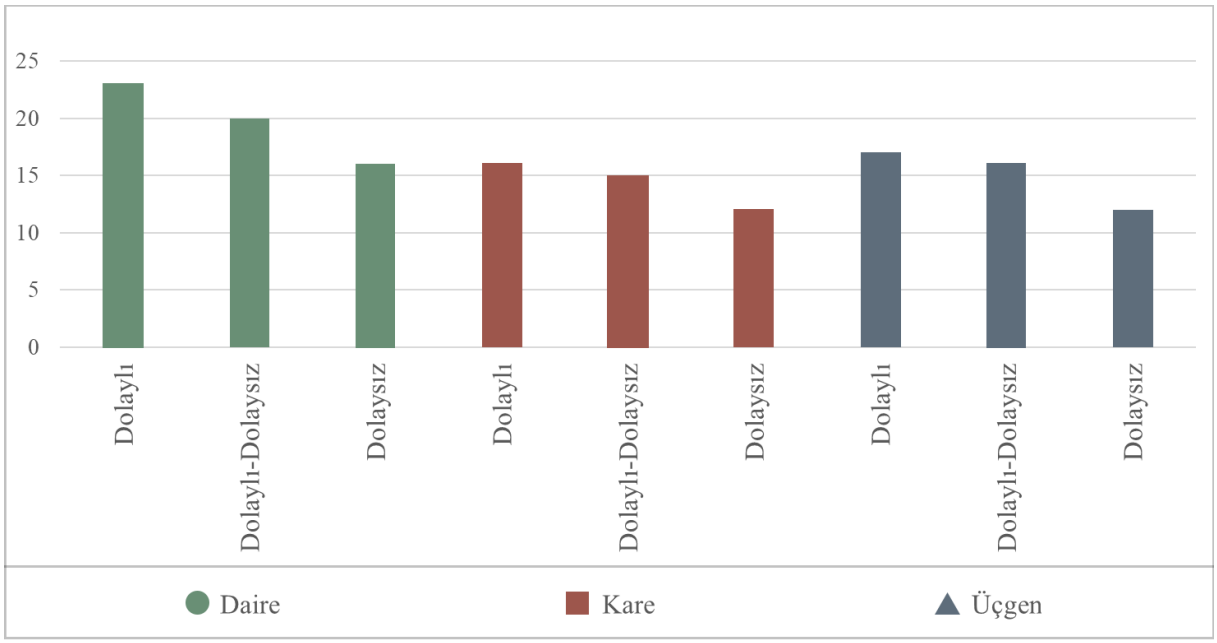
Dolaysız Aydınlatma	Dolaylı Aydınlatma	Dolaylı-Dolaysız Aydınlatma

 	 	 
Aydınlık Düzeyi (80 cm): 506 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 517 lx	Aydınlık Düzeyi (80 cm): 523 lx
Kullanılan Aygıt Sayısı: 15	Kullanılan Aygıt Sayısı: 20	Kullanılan Aygıt Sayısı: 17
Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,34	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,64	Aydınlık Dağılımının Düzgünlüğü: 0,52
Enerji Tüketimi: 946 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1401 kWh/a	Enerji Tüketimi: 1089 kWh/a

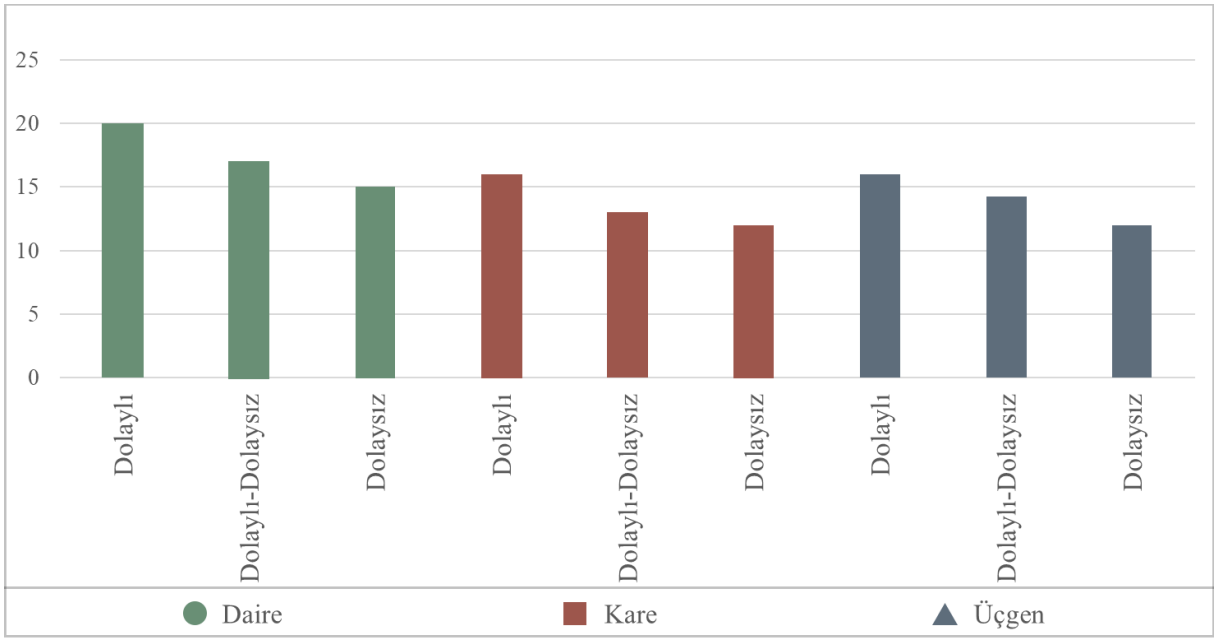
4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

3 iç mekânda 3 farklı aydınlatma biçiminin 2 farklı yöntemle incelenmesi ile toplamda 27 farklı senaryo için Dialux Evo programı kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Alanlar İçin Otomatik Düzenlemeler Yöntemi'nde program, seçilen aygıta bağlı olarak değişen aygıt mesafesine göre düzenlenen bir grid sistemi ile çalıştığından dolayı daire ve üçgen hacimlerinde hedef, 500 lx yazıldığında değil de değer arttırıldığında elde edilmiştir. Hem Alanlar İçin Otomatik Düzenlemeler Yöntemi'nde hem de Grid Sistemde 2 m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeni Yöntemi'nde hedeflenen aydınlık düzeyi olan 500 lx'e bütün mekânsal formlarda en az aygıt kullanarak ve enerji tüketerek ulaşan aydınlatma biçimi dolaysız aydınlatma biçimi olmuştur. Dolaylı aydınlatma senaryolarında ise daha fazla aygıt ve enerji kullanarak 500 lx değerine ulaşılabilmiştir (Çizelge 12). Kare mekânlarda diğer formlara göre genel olarak daha az sayıda aygıt kullanılarak hedef değer elde edilse de üçgen mekânda, özellikle Grid Sistemde 2 m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeni Yöntemi'nde elde edilen aygıt sayısı kare mekân sonuçları ile benzerlik göstediği görülmüştür. Aydınlık dağılımının düzgünlüğü ise dolaysız aydınlatma senaryolarında en düşükken genelde dolaylı aydınlatma biçimi kullanılan senaryolarda daha yüksek çıkmıştır. Kare ile üçgen mekânlarda çoğunlukla benzer aygıt sayısı ile hedef olan 500 lx elde edilse de, genel olarak üçgen mekânda aydınlık dağılımının düzgünlüğünün daha düşük çıktığı görülmüştür. Daire ile oluşturulan mekânda ise 500 lx'e ulaşmak için diğer mekânlara göre daha fazla aygıt ve dolayısıyla daha fazla enerji kullanılması gerekmektedir.

Çizelge 12. Alana Göre Otomatik Olarak Yapılan Aydınlatma Düzeninde Hedef 500 lx Aydınlatma Düzeyi İçin Gereken Aygıt Sayıları



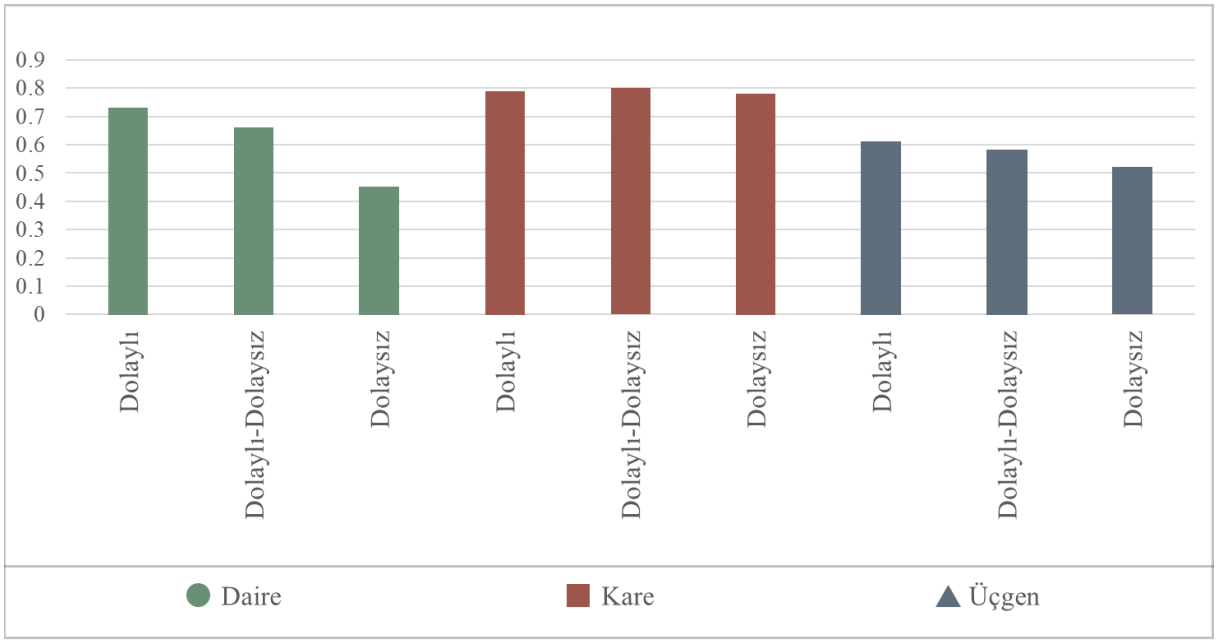
Çizelge 13. Grid Sistemde 2 m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeninde Hedef 500 lx Aydınlatma Düzeyi İçin Gereken Aygıt Sayıları



2 m'lik Aralıklarla Oluşturulan Aygıt Düzeni'nde maksimum aygıtın kullanılması ile aygıtın yerleştirileceği noktalar sabitlenmiş, böylece aynı mekân türünde sadece aydınlatma biçimi değiştirilerek aradaki fark değerlendirilmiştir. Bütün senaryolara bakıldığında, dolaysız aydınlatma yapan aygıtın kullandığı mekânlarda daha yüksek aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Aydınlık dağılımın düzgünlüğü ise Çizelge 14'te görüldüğü gibi kare mekân haricinde dolaylı aydınlatma senaryolarında daha yüksekken, kare mekânda dolaylı-dolaysız aydınlatma aygıtı kullanıldığında daha yüksek bir sonuç elde edilmiştir. Daire mekânda, üçgen formu ile

oluşturulan mekâna göre her aydınlatma biçiminde daha fazla aygıt kullanılmasına rağmen, üçgen mekânda elde edilen aydınlık düzeyleri daha yüksektir.

Çizelge 14. Grid Sistemde 2 m Aralıklarla Yapılan Aydınlatma Düzeninde Maksimum Sayıda Aygıt Kullanıldığında Elde Edilen Aydınlık Dağılımın Düzgünlüğü Değerleri



Yapılan bu değerlendirmelerde farklı form türlerinde aydınlatma parametrelerinin nasıl etkilendiği incelenmiştir. Mekânın fiziksel özelliklerinden doğan farklılıklar ile ilgili denemeler yapılarak aydınlatma tasarımının doğru bir şekilde yapılabilmesine destek olunması amaçlanmıştır.

KAYNAKÇA

Ching, F. D., *Form, Space and Order*, John Wiley & Sons, Inc, 2007.

Current Lighting, *6L-P-ID-STD-4-SOF-X-CX-35K-I040-D050 (Aydınlatma Aygıt Görseli),* Dialux Luminaire Finder

DIAL GmbH. (2023), *Dialux Evo 13.1 Öğrenci Sürümü*. https://www.dialux.com/en-GB/dialux-for-education (Erişim Tarihi 17.12.2025).

Dinçer, Ö., *Mimari Mekan Organizasyon Sürecinde Mekansal Hemyüzey Birleşim ve Entegrasyon Kavramlarının Analiz.*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2005.

Küçükdoğu, M. Ş., *Aydınlatmada Etkin Enerji Kullanımı*, II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 2005.

M.Groh, J., *Mekân Yaratmak, Beyin Neyin Nerede Olduğunu Nasıl Biliyor?* Metis Bilim, 2021.

Özkum, E., *Doğal ve Yapay Aydınlatmanın İnsan Psikolojisi Üzerindeki Etkileri,* Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İçmimarlık Ana Sanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.

Öztürk, M., *Aydınlatmada Enerji Verimliliği*, Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi, 35-36, 2019.

Philips Lighting, *Flexblend, Surface Mounted Sm340c Led35s/940 Mlo Psu L1500 Sm340c (Aydınlatma Aygıtı Görseli),* Dialux Luminaire Finder.

Sirel, Ş., (2007). *Aydınlatma Tekniği Seminer Notları.* https://sazisirel.com/booklets/AydSemDersNotu.pdf (Erişim Tarihi:10.11.2025).

TS EN-12464-1, *TS EN-12464-1:Işık ve Aydınlatma-Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanlar,* Türk Standartları Enstitüsü, 2021.

Varton Lighting, *Linear Lighting V1-R0-00573-30000-4003540 Gexus Line 1500x160 35W 4000K (Aydıntlatma Aygıtı Görseli),* Dialux Luminaire Finder.

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

ENERJİ İLETİM HAVA HATLARININ YAPIM MALİYETİNDEKİ YILLIK DEĞİŞİMLERİN ENDEKS SAYILARI YARDIMIYLA ANALİZİ

Elk. Müh. Alper YILDIZ

TEİAŞ 1. Bölge Müdürlüğü,

yildiz.alper@teias.gov.tr - ORCID ID: 0009-0001-3430-3179

Prof. Dr. Selim AY

YTÜ Elektrik Müh. Bölümü,

selimay@yildiz.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0312-9507

ÖZET

Enerji iletim hava hatlarının yapım maliyeti malzeme, montaj, proje ve kamulaştırma maliyetlerinden oluşmaktadır. Her maliyet bileşeni farklı birimle tanımlanır; örneğin kafes direk temeli (m^3/adet), kafes direk (kg/adet), faz iletkeni ve koruma teli (kg/km), izolatör ve hırdavat malzemesi (adet/faz), irtifak/kamulaştırma (m^2) olarak enerji iletim hattının yapım maliyetine etki eder. Yapım maliyeti 1 km uzunluk için tanımlanır ve gerilim seviyesi, direk açıklığı, demet sayısı, direk geometrisi, devre sayısı, ek yükler, arazinin topoğrafik özellikleri, zemin yapısı, some sayısı gibi bir dizi faktöre bağlıdır. Bir enerji iletim hattının bugünkü yapım maliyeti ile geçmiş yıllara ait yapım maliyeti ülkedeki enflasyon (eskalasyon) nedeniyle doğal olarak aynı değildir ve fiyat farklarının ortaya çıkması kaçınılmazdır. Örneğin enerji iletim hattının yapım maliyetinin (TL/km) bir sonraki yıla/yıllara indirgenmesinde Yurt İçi Üretici Fiyatları Endeksi (Yİ-ÜFE) kullanılabilir; ancak bu durumda tüm maliyet bileşenlerine aynı oranda artış yansıtılmış olmaktadır. Endeks sayıları ekonomide farklı özellik ve birime sahip maliyet bileşenlerinin baz yıl referansına göre cari yıldaki değişimlerini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada; enerji iletim hava hatlarında her maliyet bileşeni bir poz numarasıyla tanımlandığı ve her maliyet bileşeninin miktarı/birimi (m, m^2, m^3, kg, adet vb.) belli olduğu için, seçilen baz yıla göre endeks sayıları yardımıyla hat maliyetindeki değişim formüle edilmiştir. Endeks sayıları kapsamında ekonomik analizlerde sıkça kullanılan Laspeyres fiyat endeksi, Paasche fiyat endeksi, Fisher fiyat endeksi ve Bowley fiyat endeksi kullanılmıştır. Sayısal uygulamada Laspeyres fiyat endeksinin direk açıklığına bağlı değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hat yapım maliyeti, Bowley endeksi, Fisher endeksi, Laspeyres endeksi

1. GİRİŞ

Çeşitli elektrik üretim santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin yüksek gerilim altında tüketim bölgelerine ulaştırılması için enerji iletim hatları kullanılmaktadır. Ülkelerde nüfus artışı ve sanayileşme sonucu yıllar içinde elektrik enerjisi tüketimi artmakta ve bu ihtiyacı karşılamak üzere toplam santral kurulu gücü ve enerji iletim hattı uzunlukları da artış göstermektedir.

Örneğin TEİAŞ verilerine göre Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2024 yılında bir önceki yıla göre %5.5 artarak 353.6 TWh olmuştur. Türkiye'nin kurulu gücü 2024 yılında 116265.1 MW iken 2025 yılının sonunda yaklaşık 121.5 GW değerine ulaşacaktır.

TEİAŞ 2024 İstatistiklerine göre 400 kV'luk ve 154 kV'luk enerji iletim hava hatlarının uzunlukları sırasıyla 25692.20 km ve 48310.71 km; 400 kV'luk ve 154 kV'luk yeraltı kablolarının uzunlukları ise sırasıyla 86.96 km ve 551.44 km'dir. Ayrıca 400 kV'luk 24.78 km uzunluğunda denizaltı kablosu bulunmaktadır [1].

Tüm dünyada ve Türkiye'de enerji iletim hatlarının büyük bir bölümü hava hatlarından oluşmaktadır. Bunun en önemli nedeni km başına yapım maliyeti yönünden hava hatlarının yeraltı kablolarına göre daha ekonomik olmasıdır; gerilim seviyesi ve hat uzunluğu arttıkça aralarındaki maliyet oranı daha da artmaktadır. Örneğin 2023 yılında 15 km'lik hat uzunluğu için yeraltı kablosu yapım maliyeti/hava hattı yapım maliyeti oranı 6.27…9.25 arasında iken, 75 km'lik hat uzunluğu için bu oran 6.35…9.71 arasındadır [2].

Her yıl artan ihtiyaca göre yeni enerji iletim hatları devreye alınmaktadır. Örneğin TEİAŞ 2024 Yılı Yatırım Programında, 50 adet 400 kV'luk enerji iletim hava hattı (3863.10 km) ve 221 adet 154 kV'luk enerji iletim hava hattı (5866.02 km) yer almaktadır [3].

Enerji iletim hava hatlarının projelendirilmesinde elektriksel ve mekanik parametreler göz önünde bulundurulmaktadır [4-8]. Bu bakımdan hava hatlarının yapım maliyeti söz konusu parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Enerji iletim hava hattının 1 km uzunluğunun yapım maliyeti aşağıdaki parametrelerin bir fonksiyonudur [9-11]:

- İşletme gerilimi (kV)
- Direk geometrisi
- Devre sayısı
- Demet sayısı
- Bölgenin kirlilik seviyesi (mm/kV)
- Arazinin topoğrafyası
- Zemin yapısı
- Güzergahta atlama yapılan yerlerin (nehir, karayolu, boğaz vb.) sayısı
- Ek yükler/Özel bölge
- Some sayısı
- Arazinin deniz seviyesinden yüksekliği
- Kamulaştırılan alanın yüzölçümü (m^2) ve rayiç arsa bedelleri (TL/m^2)
- Ruling direk açıklıklarının sayısı ve ortalama direk açıklığı
- ÇED raporu, haritalandırma, projelendirme

Enerji iletim hattının yapımına ilişkin tüm malzeme ve montaj bedelleri toplanıp hat uzunluğuna bölünürse hattın 1 km uzunluğunun yapım maliyeti (kilometrik maliyeti) bulunmuş olur. Bu maliyet, her bir maliyet bileşenine ilişkin (poz numarasına ait) birim fiyat ile ilgili miktarın çarpımından hesaplanmaktadır. Maliyet bileşenlerinin birim fiyatları yıldan yıla değişiklik gösterdiği için hat yapım maliyetleri de doğal olarak her yıl değişikliğe uğrar.

Enerji iletim hava hatlarının kilometrik maliyetini belirlerken yıllık ulusal enflasyon oranında artırmak bir yoldur. Örneğin TL/km kilometrik maliyeti her yıl Yurt İçi Üretici Fiyatları

Endeksi (Yİ-ÜFE) yardımıyla güncellenebilir; böylece hattın yapımındaki tüm malzeme ve montaj maliyetleri aynı oranda (yıllık enflasyon oranında) artırılmış olmaktadır. Bu çalışmada ise enerji iletim hava hatlarının kilometrik maliyetindeki yıllık değişim "endeks sayıları" kullanılarak ortaya konulmuştur.

2. ENERJİ İLETİM HAVA HATLARININ KİLOMETRİK MALİYETLERİ

Bir enerji iletim hattının kilometrik maliyeti (yapım maliyeti) şu bileşenlerden oluşur [4-8]:

- Kafes direk (malzeme ve montaj)
- Faz iletkenleri (malzeme ve montaj)
- Koruma telleri (malzeme ve montaj)
- İzolatörler (malzeme ve montaj)
- Direk temeli (malzeme ve montaj)
- Direk topraklaması (malzeme ve montaj)
- Hırdavat takımları (ark boynuzu, korona halkası, damper, ikaz küresi, topbaşı, askı ve gergi takımları, kuşkonmaz, spacer) (malzeme ve montaj)
- Etüt, proje, kontrollük

Çizelge 1. 2024 yılı 154 kV Enerji İletim Hatlarının Kilometrik Maliyetleri [12]

Karakteristik	Kilometrik maliyet (TL/km)
477 MCM	1,744,420.97
795 MCM	1,911,694.21
954 MCM	2,150,655,99
1272 MCM	2,389,617.76
1272 MCM (*)	3,952,981.36
2×477 MCM	3,982,681.64
2×795 MCM	4,265,952.48
2×954 MCM	4,799,196.54
2×1272 MCM	5,332,440.60
2×1272 MCM (*)	6,193,615.50
4×1272 MCM	13,864,345.55

(*) Yeni direk tip projeleri için; 2× hattın çift devreli olduğunu ifade ediyor

Çizelge 2. 2024 yılı 400 kV Enerji İletim Hatlarının Kilometrik Maliyetleri [12]

Karakteristik	Kilometrik maliyet (TL/km)
2B 954 MCM	3,957,982.65
3B 954 MCM	5,497,261.49
3B 1272 MCM	6,544,358.91
3B 1272 MCM (*)	8,472,021.93
2×3B 954 MCM	10,623,248.23
2×3B 1272 MCM	12,646,724.09
2×3B 1272 MCM (*)	19,142,606.27

(*) Yeni direk tip projeleri için; 3B hattın 3'lü demet (3 Bundle) olduğunu ifade ediyor

Çizelge 1 ve **Çizelge 2**'deki kilometrik maliyetler, mevcut sözleşme fiyatları ve Yİ-ÜFE endeksleri kullanılarak hazırlanmıştır.

Enerji iletim hava hattının toplam yapım maliyeti şöyle ifade edilebilir:

$$M = \sum_{j=1}^{d} M_{dj} + 3 \times M_f \times n_d \times n_1 \times L + M_k \times L + 3 \times n_1 \times \sum_{j=1}^{iz} M_{izj} + M_{diğer} \quad (1)$$

Burada d hattaki direk sayısı, M_{dj} j. direğin maliyeti, M_f faz iletkeninin 1 m uzunluğunun maliyeti, n_1 devre sayısı, n_d demet sayısı, L hattın uzunluğu (km), M_k koruma telinin 1 m uzunluğunun maliyeti, M_{iz} bir fazın izolatör maliyet ve iz hattaki toplam izolatör sayısıdır.
Buradan hattın kilometrik maliyeti kolayca bulunur:

$$\text{Kilometrik maliyet} = \frac{M}{L} \quad \text{...TL/km (veya €/km ya da \$/km)} \quad (2)$$

t. yılın kilometrik maliyeti, Yİ-ÜFE (%) biliniyorsa, (t+1). yıla şöyle indirgenir:

$$M_{t+1} = M_t \times (1 + \text{Yİ-ÜFE}) \quad (3)$$

3. KİLOMETRİK MALİYETİN ENDEKS SAYILARI İLE GÜNCELLENMESİ

Endeks sayıları makroekonomik analizlerde, ulusal enflasyon oranının ölçülmesinde kullanılır. Çünkü bir ülkede farklı birim ve miktarlardaki ürünlerden oluşan ürün sepetindeki baz yıl ve cari yıl arasındaki fiyat değişimleri ancak endeks sayıları (*index numbers*) kullanılarak ölçülebilir. Örneğin Üretici Fiyatları Endeksini ölçmek için önce bir ürün sepeti oluşturulur. Sepetteki ürünlerin sayısı, türleri ve sepet içindeki ağırlıkları (payları) genellikle anketler ile belirlenir. Bir baz yıl seçilmiştir, baz yıldaki mal ve fiyatlar ile cari yıldaki fiyatlar sepetteki ürün ağırlıkları (payları) da dikkate alınarak oranlanır.

Literatürde çeşitli araştırmacılar (Laspeyres, Paasche, Fisher, Bowley, Marshall-Edgeworth, Lowe, Diewert, Törnqvist, Walsh, Carli, Dutot, Jevons, Young, Malmquist, Lloyd-Moulton, Carruthers-Sellwood-Ward-Dalèn) tarafından ortaya konulmuş olan çok sayıda endeks yer almaktadır [13-20].

Örneğin sıkça kullanılan Laspeyres fiyat endeksi, ve Paasche fiyat endeksi, baz yıl "0" indisi ile ve cari yıl "1" indisi ile gösterildiğinde şöyle hesaplanır:

$$\text{Laspeyres fiyat endeksi} = \frac{\sum_{j=1}^{n} p_1 \times q_0}{\sum_{j=1}^{n} p_0 \times q_0} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Paasche fiyat endeksi} = \frac{\sum_{j=1}^{n} p_1 \times q_1}{\sum_{j=1}^{n} p_0 \times q_1} \times 100 \quad (5)$$

Burada p fiyatları (o aya ait ürün fiyatlarının ortalamasını) ve q miktarları göstermektedir.
Baz yıl referans alınan yılı göstermektedir; ülkemizde 2025 yılındaki hesaplamalar için kullanılan baz yıl 2003'dür (2003=100).

p_1 cari (içinde bulunulan) yıla ait fiyatı, q_1 cari yıla ait miktarı, p_0 baz yıla ait fiyatı ve q_0 baz yıla miktarı göstermektedir. n ürün sepetinde yer alan ürünlerin sayısıdır.

Örneğin Laspeyres fiyat endeksinin 166.55 hesaplanmış olması, baz yıla göre ürün sepetindeki fiyat artışının %66.55 olmasına karşılık düşer.

Fisher endeksi ve Bowley endeksi ise Laspeyres ve Paasche endekslerinin ortalaması alınarak hesaplanır. Fisher endeksi bu iki endeksin geometrik ortalamasına, Bowley endeksi ise bu iki endeksin aritmetik ortalamasına karşılık düşer:

$$\text{Fisher endeksi} = (\text{Laspeyres fiyat endeksi} \times \text{Paasche fiyat endeksi})^{0.5} \quad (6)$$

$$\text{Bowley endeksi} = 0.5\times (\text{Laspeyres fiyat endeksi} + \text{Paasche fiyat endeksi}) \quad (7)$$

Bir enerji iletim hava hattının kilometrik maliyetini oluşturan en temel bileşen miktarları (q) şunlardır:

- (q_A) Kafes direkler (kg)
- (q_B) Direk temelleri (m^3)
- (q_C) İletkenler (faz iletkenleri ve koruma telleri) (kg)
- (q_D) İzolatörler (adet)
- (q_E) Hırdavat takımları ve diğer bağlantı elemanları (adet)

Aynı coğrafi bölgede yer alan, aynı gerilim ve aynı direk geometrisine sahip enerji iletim hattının bileşenleri/miktarları yıldan yıla değişiklik göstermez, sabittir; bu bakımdan enerji iletim hava hatları için en uygun fiyat endeksi Laspeyres fiyat endeksidir.

L (km) uzunluk için, baz yıla ve cari yıla ait kilometrik maliyetler sırasıyla şöyle yazılır:

$$(\Sigma p_{A0}\times q_A + p_{B0}\times q_B + p_{C0}\times q_C + p_{D0}\times q_D + p_{E0}\times q_E)\times L^{-1} \quad (8)$$

$$(\Sigma p_{A1}\times q_A + p_{B1}\times q_B + p_{C1}\times q_C + p_{D1}\times q_D + p_{E1}\times q_E)\times L^{-1} \quad (9)$$

Baz yıldaki ve cari yıldaki bileşen miktarlarının aynı olmaması Teknik Şartnamede öngörülen şu nedenlerden kaynaklanabilir:

- Cari yılda izolatör krepaj seviyesi (mm/kV) artırılmış olabilir
- Cari yılda direk topraklama direncinin sınır değeri (Ω) düşürülmüş olabilir.
- Cari yılda direk temellerinde kullanılan betonun kalitesi/dayanımı artırılmış olabilir.
- Cari yılda çelik koruma teli yerine OPGW öngörülmüş olabilir.
- Cari yılda damper, spacer, spacer-damper sayılarında değişiklik öngörülmüş olabilir.
- Cari yılda ikaz kürelerinin sayısında ve özelliğinde değişiklikler olabilir.
- Cari yılda kuşkovar/kuşkonmaz modelinde değişiklik olabilir.
- Cari yılda direklerin üst bölümünün özel renkte boyanması öngörülmüş olabilir.
- Cari yılda daha önce kabul edilen maksimum yıldırım darbe akımı (kA) değerinin yükseltilmesi söz konusu olabilir.
- Cari yılda direklere çeşitli gözlem (sehim, buz yükü) cihazları eklenmiş olabilir.

Bu durumda cari yılın miktarlarını (q_1) esas alan Paasche fiyat endeksini kullanmak uygun olur.

Fiyat endekslerini kullanarak t. ve (t+1). yıl arasındaki kilometrik maliyet endeksini hesaplamak için, (8) ve (9) bağıntılarında 0 indisi yerine→t ve 1 indisi yerine→(t+1) yazılır. Endeks sayıları yardımıyla kilometrik maliyetteki % değişim şöyle bulunur:

$$\text{Kilometrik maliyetteki \% değişim} = \left(\frac{\text{Endeks}_{t+1}}{\text{Endeks}_t} - 1\right)\times 100 \quad (10)$$

Eşitlik (10)'daki değer, (3)'deki eşitlikten bulunacak sonuçtan daima farklı olacaktır.

t. yıl ve (t+1). yıl arasında tüm ürünleri kapsayan ortalama eskalasyon oranı = esk ve fiyat endeksindeki artış oranı α = Endeks−100 ise, bu süreçte endeksteki "reel değişim oranı β" şöyle bulunur:

$$\beta = \frac{1+\alpha}{1+\text{esk}} - 1 \qquad (11)$$

4. SAYISAL UYGULAMA

Bir enerji iletim hava hattında ortalama 333 m direk açıklığına ilişkin kilometrik maliyetin bileşenleri (ağırlıkları) **Çizelge 3**'de verilmiştir.

Çizelge 3. Ortalama 333 m Direk açıklığı için Kilometrik Maliyetin Bileşenleri

Maliyet bileşeni	Ağırlığı (%) (*)	Ağırlığı (per-unit) (*)
Kafes direkler	28	0.28
Direk temelleri	22	0.22
İletkenler	16	0.16
İzolatörler	20	0.20
Hırdavat takımları	14	0.14
Toplam	100	1.00

(*) Varsayımsal (hipotetik) değerlerdir

2024 yılı baz alındığında 2025 yılındaki fiyat artışları **Çizelge 4**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2024-2025 Arasında Fiyat Değişimleri (Eskalasyon Oranları)

Maliyet bileşeni	Eskalasyon oranı (%) (*)
Kafes direkler (TL/kg)	14
Direk temelleri (TL/m^3)	21
İletkenler (TL/kg)	11
İzolatörler (TL/adet)	17
Hırdavat takımları (TL/adet)	25

(*) Varsayımsal (hipotetik) değerlerdir

Aynı coğrafi bölgede 250 m ve 500 m ortalama direk açıklıklı enerji iletim hatlarında kilometrik maliyet bileşeninin ağırlıkları aşağıda hesaplanmıştır.

1 km boyunca kullanılacak direk sayısı (d); 333 m, 250 m ve 500 m için hesaplandığında sırasıyla,

$d = \frac{1000}{333} + 1 = 4$ adet/km,

$d = \frac{1000}{250} + 1 = 5$ adet/km ve

$d = \frac{1000}{500} + 1 = 3$ adet/km bulunur.

bulunur. Ortalama 250 m ve 500 m direk açıklığı için maliyet bileşenlerinin ağırlıkları (**Çizelge 5**'de verilmiştir.

Çizelge 5. Ortalama 250 m ve 500 m Direk Açıklığı için Kilometrik Maliyetin Ağırlıkları

Maliyet bileşeni	250 m için (%)	500 m için (%))
Kafes direkler	28.93	26.58
Direk temelleri	22.72	20.89
İletkenler	13.22	20.25
İzolatörler	20.66	18.99
Hırdavat takımları	14.46	13.29
Toplam	100	100

Çizelge 6. Laspeyres Fiyat Endeksinin Direk Açıklığına Bağlı Değerleri

Direk açıklığı (m)	Laspeyres fiyat endeksi
250	117.39
333	117.20
500	116.88

Piyasadaki ürün eskalasyon oranı aritmetik ortalama ve geometrik ortalama ile hesaplanmıştır:

$esk_1 = 5^{-1}\times(\%14 + \%21 + \%11 + \%17 + \%25) = \%17.60$

$esk_2 = \% (14\times21\times11\times17\times25)^{1/5} = \%16.89$

Çizelge 7. Reel Laspeyres Fiyat Endeksinin Direk Açıklığına Bağlı Değerleri

Direk açıklığı (m)	esk_1 için "reel endeks"	esk_2 için "reel endeks"
250	-1.78×10^{-3}	4.28×10^{-3}
333	-3.40×10^{-3}	2.65×10^{-3}
500	-6.12×10^{-3}	$-8.56\times10^{-5} \approx 0$

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Enerji iletim hava hatlarının yapım maliyetinin önceki yıllara göre değişimini ortaya koymak için ulusal enflasyon oranını (yeniden değerleme oranını) kullanmanın dışında bir başka yol endeks sayılarını kullanmaktır. Endeks sayıları kilometrik maliyeti oluşturan her bileşene ilgili eskalasyon oranlarını yansıttığı için daha sağlıklı sonuç verir.

Seçilecek baz yıl olarak ulusal fiyat hareketlerinin oldukça stabil olduğu bir yılın seçilmesi önemlidir. Örneğin ulusal enflasyon hesaplamalarında baz yıl şu anda 2003 olduğu halde 2026 yılından itibaren 2025 yılı baz yıl kabul edilecektir. Enerji iletim hava hattının maliyet bileşenlerinin (ilgili poz numaralarının) yıllık birim fiyatları kullanılarak hesaplama yapıldığında gerçek yıllık fiyat değişimleri elde edilir.

Çizelge 6'dan direk açıklığı ile Laspeyres fiyat endeksi arasında ters korelasyon olduğu görülmektedir. Bunda direk açıklığı arttığında kafes direk, direk temeli, izolatör ve hırdavat malzemelerinin kilometrik maliyet içindeki ağırlıklarının azalmasının rolü vardır.

Gerçek birim fiyatlar ile hesaplanan Laspeyres fiyat endeksinin reel değerini bulmak için, ulusal enflasyon oranını (Yİ-ÜFE veya yeniden değerleme oranını) kullanmak daha gerçekçi olur.

KAYNAKÇA

[1] teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri
(Erişim tarihi: 10.12.2025)

[2] MacDonald, M., *A Comparison of Electricity Transmission Technologies: Costs and Characteristics*, Report, The Institution of Engineering and Technology (IET), 2025.

[3] teias.gov.tr/faaliyet-raporlari
(Erişim tarihi: 10.12.2025)

[4] Kiessling, F., Nefzger, P., Nolasco, J.F., Kaintzyk, U., *Overhead Power Line: Planning, Design, Construction*, Springer, 2003.

[5] Farzaneh, M., Farokhi, S., Chisholm, W.A., *Electrical Design of Overhead Power Transmission Lines*, McGraw Hill, 2012.

[6] Papailiou, K.O., *Overhead Lines*, CIGRE/Springer, 2017.

[7] de Moura, A.P., de Moura, A.A.F., da Rocha, E.P., *Transmission of Electrical Energy: Overhead Lines*, CRC Press, 2020.

[8] Chattopadhyay, S., Das, A., *Overhead Electric Power Lines: Theory and Practice*, The Institution of Engineering and Technology (IET), 2021.

[9] Ay, S., *Enerji İletim Sistemleri Cilt 4*, Birsen Yayınevi, 2018.

[10] Ay, S., *Enerji İletim Sistemleri Cilt 5*, 2. Baskı, Birsen Yayınevi, 2020.

[11] Ay, S., *Mühendislikte Ekonomik Analiz*, Birsen Yayınevi, 2021.

[12] https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/mevzuat-sitesi/Talimatlar/TE%C4%B0A%C5%9E%20(Kilometrik%20Fiyatlar%20Tablosu)%20(249.01).pdf
Erişim tarihi: 10.12.2025

[13] Selvanathan, E.A, Rao, D.S.P., *Index Numbers: A Stochastic Approach*, The Macmillan Press Ltd., 1994.

[14] Sharma, A.K., *Textbook of Index Mumber and Time Series*, Discovery Publishing, 2005.

[15] Balk, B.M., *Price and Quantity Index Numbers: Models for Measuring Aggregate Change and Difference*, Cambridge University Press, 2008.

[16] Kılıçkaplan, S., *İndeks Sayıları Kuramı ve Uygulamaları*, Gazi Kitabevi Yayınları, 2009.

[17] Ralph, J., O'Neill, R., Winton, J., *A Practical Introduction to Index Numbers*, Wiley, 2015.

[18] Custodio, S.G., Ferreira, T., Delgado, S., Caldeira, O., *Numeros Indices: Exposiçao Teorica e Exercicios*, Ediçoes Silabo, 2022.

[19] Abe, N., *Price Index Numbers: Theory and Application*, Springer, 2025.

[20] International Monetary Fund, International Labour Organization, EUROSTAT, United Nations, OECD, World Bank Group, *Consumer Price Index Manual: Theory*, 2025.

ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDEKİ SERİ KOMPANZASYON TESİSLERİNİN EKONOMİK YÖNDEN ANALİZİ

Elk. Müh. Alper YILDIZ

TEİAŞ 1. Bölge Müdürlüğü,

yildiz.alper@teias.gov.tr - ORCID ID: 0009-0001-3430-3179

Prof. Dr. Selim AY

YTÜ Elektrik Müh. Bölümü,

selimay@yildiz.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0312-9507

ÖZET

Enerji iletim sistemlerinde seri kompanzasyon tesislerinin kullanım amaçları; enerji iletim hattının güç iletiminin artırılması, bu sırada sürekli hal kararlılığının bozulmaması ve çok devreli iletim hatlarına olan ihtiyacın azalması şeklinde özetlenebilir. Enerji iletim sisteminden seri kompanzasyon sonucu daha çok güç çekilmesi enerji iletim sistem operatörünün enerji iletim gelirinin artmasına neden olur. Bu çalışmada seri kompanzasyon tesisinin yapım maliyeti, işletme ömrü yıllık işletme maliyeti, paranın zaman değeri, enerji iletim tarifesindeki ve işletme maliyetindeki yıllık eskalasyon oranları, hurda değeri, seri kompanzasyon sonucu elde edilen ek iletim geliri göz önünde bulundurularak ekonomik analiz yapılmıştır. Ekonomik analizde mühendislik ekonomisinden bilinen net şimdiki değer yöntemi, yıllık değer yöntemi ve iç verim oranı yöntemi kullanılmıştır. Seri kompanzasyon tesisinin yapım maliyetinin finansmanının ulusal para biriminde veya döviz biriminde ya da ikisinin birleşimi olması durumları için paranın zaman değeri ayrı ayrı ortaya konulmuştur. Seri kompanzasyon tesisinin ekonomik yönden kabul edilebilir olmasına yönelik kriterler oluşturulmuştur. Sayısal uygulamada seri kompanzasyon tesisinin işletme ömrü süresince tahmin edilen ortalama parametreler (yıllık ortalama eskalasyon oranı, yıllık ortalama enerji talep artış oranı, yıllık ortalama enflasyon oranı) yardımıyla net şimdiki değer, yıllık değer ve iç verim oranı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eskalasyon, Net şimdiki değer, Yıllık değer, İç verim oranı

1. GİRİŞ

Enerji iletim sistemlerin yıllar içinde artan güç talebine paralel olarak güç iletim kapasitesinin yüksek olması istenir. İki bara arasında iletilecek güç bara gerilimleri ile doğru orantılı ve iletim hattının reaktansı ile ters orantılıdır. İletilen gücün artırılabilmesi için, bara gerilimlerinin artırılması veya iletim hattının reaktansının azaltılması gerekir. İletim hattının reaktansının azaltılması için de iletim hattının çok devreli yapılması veya demet sayısının artırılması ya da iletim hattına seri kompanzasyon tesisinin bağlanması gerekir. Uzun enerji iletim hatlarında

hatların aktif güç iletme kapasitesini artırmak için, hatta seri kapasitör bağlayarak hat reaktansını kompanze etmek mümkündür. Seri kapasitör güç iletimini artırmaktan başka hat üzerindeki gerilim düşümünü de azaltır. Çünkü seri kompanzasyon sonrasında hattın reaktansı (X_{hat}) azalmaktadır, böylece aynı I yük akımında I× X_{hat}' gerilim düşümü I× X_{hat} gerilim düşümünden daha düşük olmaktadır. Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nin 6 (17). maddesi uyarınca 400 kV'luk uzun iletim hatlarında gerektiğinde hattın endüktif reaktansını düşürmek için seri kapasitörler kullanılmaktadır. 25 Ω, 35 Ω ve 45 Ω değerinde seri kapasitörlerin kullanıldığı iletim hatlarımızın bazıları şunlardır [1]:
Ağaçören SKM, Göksun SKM →45 Ω, Kayabaşı-Kurşunlu, Kayabaşı-Bağlum, Kayabaşı-Deçeko→ 35 Ω, Tirebolu-Kalkandere → 25 Ω, Elbistan B-Sincan→ 33 Ω.

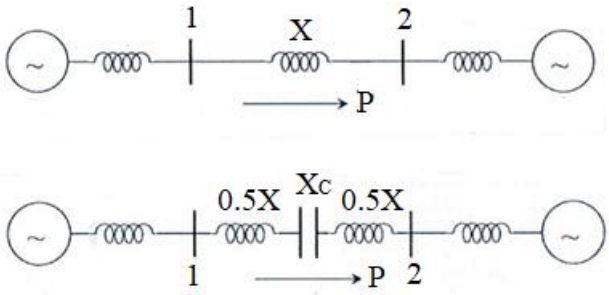
Seri kompanzasyon (kapasitör) tesislerinde seri kapasitörün reaktansı/ hat reaktansı oranı 1'den küçük küçük seçilir. Bu oranının yüksek seçilmesi halinde enerji iletim hattında seri rezonans riski ortaya çıkar. Söz konusu rezonans hattı besleyen generatörlerin millerinde burulma momentlerine ve geçici momentlere neden olur. Bu da generatörlerin millerinde mekanik arızalara yol açar. Diğer yandan seri rezonans seri kapasitörlerde arızalara da yol açar [1].

Enerji iletim sistemlerinde seri kompanzasyon yapılma ilkelerine ilişkin standartlar ve kılavuzlar bulunmaktadır [2-5]. Literatürde seri kompanzasyon içeren enerji iletim sistemleri değişik açılardan (koruma, güç akışı, kararlılık vb.) incelenmiştir [6-16].

Seri kompanzasyonun enerji iletim sistemlerine olan en önemli katkısı daha fazla gücün iletimine olanak sağlamasıdır. Seri kompanzasyondan kaynaklanan "ek güç" iletim kapasitesinin ekonomik işletme süresince ekonomik yönden analizi mühendislik ekonomisinden [17-21] bilinen yöntemler yardımıyla ortaya konulmuştur.

2. ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE SERİ KOMPANZASYON TASARIMI

Uzun enerji iletim hatlarında hatların aktif güç (P) iletme kapasitesini artırmak için, hatta reaktansı X_C (Ω) olan seri kapasitör bağlayarak hattın endüktif reaktansını (X) kompanze etmek mümkündür.



Görsel 1. Kayıpsız Enerji İletim Hattında Seri Kompanzasyon Yokken ve Ortasında Seri Kompanzasyon Varken Tek Hat Şemaları

Seri kompanzasyon sonucu hattın yeni (eşdeğer) reaktansı (X′) azaltılmış olur:

$$X' = X - (X_C' + X_C''(\alpha)) = X - X_C \quad \ldots\Omega/\text{faz} \qquad (1)$$

Burada X_C' sabit seri kompanzasyon ünitesinin reaktansı ve $X_C''(\alpha)$ -varsa- tristör kontrollü seri kompanzasyonun (TCSC - *Thyristor Controlled Series Compensation*) reaktansıdır; α ise tristörün tetikleme açısını göstermektedir.

Seri kompanzasyon paralel bağlı birden çok kapasitörden oluşur, iletim hattının yüklenmesine bağlı olarak seri kapasitör elemanlarının bazıları devre dışı edilerek X_C değeri ayarlanır. Kapasitörün maksimum dayanım gerilimi $\sqrt{2}\,(1.10 \times U)$ değerinde olmalıdır. Uzun enerji iletim hatlarında seri kapasitörler hattın birden çok yerine yerleştirilebilir.

Kayıpsız bir iletim hattında seri kompanzasyon varken 1 ve 2 baraları arasında iletilecek güç değeri bara gerilim fazörlerine ($\mathbf{U_1} = U_1\angle\delta_1$ ve $\mathbf{U_2} = U_2\angle\delta_2$) bağlı olarak şöyle bulunur:

$$P = \frac{U_1 \times U_2}{X - X_C} \sin(\delta_1 - \delta_2) \qquad \ldots MW \tag{2}$$

Kompanzasyon öncesinde iletilecek güç ise

$$P' = \frac{U_1 \times U_2}{X} \sin(\delta_1 - \delta_2) \qquad \ldots MW \tag{3}$$

olduğundan seri kompanzasyon sonrasında iletim hattının güç iletim kapasitesindeki artış

$$\Delta P = P - P' \qquad \ldots MW \tag{4}$$

Seri kompanzasyon reaktansının hat reaktansına bölünmesiyle "seri kompanzasyon oranı (K)" elde edilir. K oranı için ortalama 0.20…0.50 arasında bir değer seçilir:

$$K = \frac{X_C}{X} \tag{5.a}$$

$$X' = X\,(1 - K) \tag{5.b}$$

Uzunluğu 250 km'yi geçmeyen iletim hatlarında (nominal π devresi ile modellenen iletim hatlarında) seri kompanzasyon reaktansı hattın 1 km uzunluğunun reaktansına x (Ω/km) ve hattın uzunluğuna ℓ (km) bağlı olarak hesaplanır:

$$X_C = K \times (x \times \ell) \qquad \ldots \Omega/faz \tag{6}$$

Uzunluğu 250 km'den fazla olan iletim hatlarında ise seri kompanzasyon reaktansı, iletim hattının parametrelerinin hat boyunca dağılmış olduğu varsayımıyla "uzun enerji iletim hattı modeli" kullanılarak, şöyle hesaplanır [5]:

$$X_C = K \times \mathrm{Im}\{\mathbf{Z'}\} \qquad \ldots \Omega/faz \tag{7}$$

Burada $\mathbf{Z'}$ iletim hattının düzeltilmiş kompleks empedansı olup şöyle bulunur:

$$\mathbf{Z'} = \mathbf{Z_0} \sinh(\boldsymbol{\gamma} \times \ell) \qquad \ldots \Omega/faz \tag{8}$$

$\mathbf{Z_0}$ hattın karakteristik empedansı ve $\boldsymbol{\gamma}$ hattın propagasyon (yayılma) sabitidir. Her ikisi de kompleks büyüklük olan $\mathbf{Z_0}$ ve $\boldsymbol{\gamma}$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\mathbf{Z_0} = \sqrt{\frac{\mathbf{z}}{\mathbf{y}}} \quad \ldots(\Omega) \tag{9}$$

$$\boldsymbol{\gamma} = \sqrt{\mathbf{z} \times \mathbf{y}} \quad \ldots(1/\text{km}) \tag{10}$$

Burada **z** ve **y** hattın ℓ =1 km uzunluğunun sırasıyla, empedansı (Ω/km) ve admitansıdır (S/km).

Seri kompanzasyon reaktansının hattın uzunluğuna (ℓ) bölünmesiyle 1 km uzunluğa karşılık düşen değeri bulunur:

$$x_C = \frac{X_C}{\ell} \quad \ldots\Omega/\text{km} \tag{11}$$

Seri kompanzasyonun reaktansı X_C (Ω/faz) ve akımı I (kA) olmak üzere gücü şöyle hesaplanır:

$$Q_C = 3 \times I^2 \times X_C \quad \ldots\text{MVAr} \tag{12}$$

Seri kompanzasyon gücünün hattın uzunluğuna bölünmesiyle ℓ = 1 km uzunluğa karşılık düşen değeri bulunur:

$$q_C = \frac{Q_C}{\ell} \quad \ldots\text{MVAr/km} \tag{13}$$

Seri kompanzasyonun kuruluş maliyeti 1 MVA'lık güç için tanımlanır m_C (TL/MVA veya \$/MVA ya da €/MVA). Seri kompanzasyonun görünen gücü $\mathbf{S_C} = -jQ_C$ …MVA olarak ifade edilir. Seri kompanzasyon yapım maliyetinin 1 km uzunluğa karşılık düşen değeri

$$M_C' = \frac{M_C}{\mathcal{L}} = \frac{m_C \times S_C}{\ell} \quad \ldots\text{TL/km veya \$/km ya da €/km} \tag{14}$$

3. SERİ KOMPANZASYON TESİSİNİN EKONOMİK YÖNDEN ANALİZİ

Seri kompanzasyon tesisinin yapım maliyeti M_C (TL) ve ekonomik işletme ömrü N (yıl) biliniyor olsun. Ekonomik analiz için gerekli olan "paranın zaman değeri i (%)" belirlenmelidir; bu kapsamda üç olasılık (a, b, c) söz konusudur:

(a) Maliyetin %100'ü kredi ile finanse edilecekse i→kredi faiz oranına eşittir.

(b) Maliyetin %100'ü öz kaynak ile finanse edilecekse i→öz kaynak maliyetine eşittir.

- Öz kaynak maliyeti, TL cinsinden yatırım için→Hazine Tahvil faizlerinin son 5 yıllık ortalaması + risk puanı şeklinde belirlenebilir.
- Öz kaynak maliyeti, döviz (\$) cinsinden yatırım için→SOFR + CDS + σ şeklinde belirlenebilir. Burada SOFR (Secured Overnight Financing Rate) uluslararası finans piyasasında referans faiz oranını, CDS (Credit Default Swap) ulusal risk puanını ve σ MSCI Turkey (Morgan Stanley Capital Investment) Türkiye için standart sapma değerini göstermektedir.

(c) Maliyetin belirli yüzdesi kredi ile ve kalanı öz kaynak ile finanse edilecekse i→Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyetine (AOSM) eşit alınır. Örneğin yatırım maliyeti içinde kredinin ağırlığının %60 olduğu varsayımı için AOSM şöyle bulunur:

$$\text{AOSM} = (1 - 0.60) \times \text{Öz kaynak maliyeti} + 0.60 \times \text{Kredi faiz oranı} \times (1 - \text{vergi oranı}) \tag{15}$$

Seri kompanzasyon tesisinin ekonomik yönden analizinde mühendislik ekonomisinden bilinen üç yöntem kullanılmıştır [17-21].

3.1 Seri Kompanzasyon Tesisinin Net Şimdiki Değer Yöntemi ile Ekonomik Analizi

Net Şimdiki Değer (NŞD) yöntemi, bir tesisin ekonomik ömrü (N) boyunca tüm para akışlarının (yıllık gelirlerinin ve maliyetlerinin) şimdiki değere (t = 0) indirgenmesi ilkesine dayanır. Ekonomik kriter; net şimdiki değerin sıfırdan büyük değerde hesap edilmesidir.
Seri kompanzasyon tesisinin hurda değeri HD, yıllık işletme maliyeti M_i, enerji satış tarifesi f, iletilen enerjiden alınan iletim payının satış tarifesine oranı β ve vergi oranı v olsun.
Bu durumda net şimdiki değer şöyle ifade edilir:

$$NŞD = \sum_{t=1}^{N} \beta_t \, \Delta P_t \, f_t (1 - v)(1 + i)^{-t} + HD \, (1 + i)^{-N} - \sum_{t=1}^{N} M_{i,t} \, (1 + i)^{-t} - M_C \qquad (16)$$

Eğer β, ΔP, f ve M_i büyüklüklerinin yıllar içinde değişmediği kabul edilirse net şimdiki değer daha sade biçimde yazılır:

$$NŞD = \beta \, \Delta P \, f \, (1 - v) \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i \, (1+i)^N}\right] + HD \, (1 + i)^{-N} - M_i \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i \, (1+i)^N}\right] \qquad (17)$$

3.2 Seri Kompanzasyon Tesisinin İç Verim Oranı Yöntemi ile Ekonomik Analizi

İç verim oranı (İVO), (16) veya (17) eşitliğinde net şimdiki değeri sıfıra eşit yapan değerleme oranıdır. Ekonomik kriter; iç verim oranının paranın zaman değerinden büyük değerde hesap edilmesidir.

$$0 = \sum_{t=1}^{N} \beta_t \, \Delta P_t \, f_t \, (1 - v)(1 + İVO)^{-t} + HD \, (1 + İVO)^{-N} - \sum_{t=1}^{N} M_{i,t} \, (1 + İVO)^{-t} - M_C \qquad (18)$$

$$0 = \beta \, \Delta P \, f \, (1 - v) \left[\frac{(1+İVO)^N - 1}{İVO \, (1+İVO)^N}\right] + HD \, (1 + İVO)^{-N} - M_i \left[\frac{(1+İVO)^N - 1}{İVO \, (1+İVO)^N}\right] \qquad (19)$$

3.3 Seri Kompanzasyon Tesisinin Yıllık Eşdeğer Gelir Yöntemi ile Ekonomik Analizi

Yıllık Eşdeğer Değer (YEG) Yöntemi net şimdiki değerin ekonomik ömür boyunca her yıla eşit değerde ayrıştırılması ilkesine dayanır. Ekonomik kriter; yıllık eşdeğer gelirin sıfırdan büyük değerde hesap edilmesidir.

$$YEG = NŞD \left[\frac{i \, (1+i)^N}{(1+i)^N - 1}\right] \qquad (20)$$

4. SAYISAL UYGULAMA

Kayıpsız bir enerji iletim hattının empedansı **z** = 0.0167 + j0.304 Ω/km ve admitansı **y** = j4.1 μS/km'dir. Seri kompanzasyonun ekonomik ömrü 20 yıl, yapım maliyeti m_C ($/MVA), işletme akımı 1000 A'dir. K = 0.20 için, seri kompanzasyon sonucu yıllık ek net gelirin [ΔG = β×ΔP×f] yapım maliyetine oranı %7 (0.07 per-unit) ve hurda değeri (HD) sıfır kabul edilmiştir.

Çizelge 1. Seri Kompanzasyon Kilometrik Yapım Maliyetinin t = 0 Anında K Oranına ve Hat Uzunluğuna Bağlı Değerleri

Hat uzunluğu ℓ (km)	K = 0.20 için M_C' ($/km)	K = 0.30 için M_C' ($/km)
127	$0.1823 \times m_C$	$0.2735 \times m_C$
254	$0.1800 \times m_C$	$0.27 \times m_C$

Paranın zaman değeri (i) için iki değer öngörülmüştür (%5 ve %10).

K = 0.20 için seri kompanzasyonun net şimdiki değeri (NŞD) iki değerleme oranı (%5 ve %10) için hesaplanarak **Çizelge 3'**de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Seri Kompanzasyon Kilometrik Yapım Maliyetinin K Oranına ve Hat Uzunluğuna Bağlı Yıllık Sabit Değerleri ($/km-yıl)

i (%)	K = 0.20; 127 km	K = 0.30; 127 km	K = 0.20; 254 km	K = 0.30; 254 km
5	$0.01463 \times m_C$	$0.02195 \times m_C$	$0.01445 \times m_C$	$0.02167 \times m_C$
10	$0.02141 \times m_C$	$0.03212 \times m_C$	$0.02114 \times m_C$	$0.03171 \times m_C$

Çizelge 3. K = 0.20 için Seri Kompanzasyonun Net Şimdiki Değerleri

Paranın zaman değeri i (%)	Net Şimdiki Değer ($)
5	$-0.1279 \times m_C$
10	$-0.4040 \times m_C$

K = 0.20 için net şimdiki değer ≥ 0 olma koşulunu sağlayacak $\Delta G/M_C$ değerleri **Çizelge 4**'de yer almaktadır.

Çizelge 4. Hedeflenen İVO Değerleri için Gereken $\Delta G/M_C$ Değerleri

Hedeflenen İVO (%)	$\Delta G/M_C$ (%)
1	5.54
2	6.11
3	6.70
4	7.35

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Seri kompanzasyon tesisleri enerji iletim sistemlerinde güç iletim kapasitesini artırdıklarında teknik yönden her zaman çok gerekli elemanlardır. Ekonomik yönden değerlendirmede olumsuz sonuç (yatırım kararı almamama) çıksa da seri kompanzasyon yatırımından vazgeçilmez. Örneğin **Çizelge 3**'de NŞD < 0 çıktığı için seri kompanzasyon tesisi ekonomik yönden uygun gözükmemektedir. **Çizelge 4**'deki İVO değerleri paranın zaman değeri (i) için öngörülen minimum değerin (%5) altındadır. Bu iki ekonomik değerlendirme kriterinin sağlanmamış olması hattın yıllık iletim gelirinin oldukça düşük yüzdeye sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Öte yandan uzunluğu 250 km'nin üzerindeki iletim hatlarında hat uzunluğuna bağlı seri kompanzasyon yapım maliyeti, 250 km'den kısa hatlarınkine göre biraz daha az çıkmaktadır; bunun nedeni düzeltilmiş hat empedansının ($\mathbf{Z}'$) imajiner bileşeninin km başına değerinin azalmasıdır. Örneğin sayısal örnekte 254 km'lik iletim hattı için hesaplanan düzeltilmiş hat empedansı $\mathbf{Z}' = 4.14 + j76.20\ \Omega$/faz olup $\mathrm{Im}\{\mathbf{Z}'\} = 76.20\ \Omega$/faz'dır; km başına ise 0.3 Ω/km'dir. Oysa 127 km'lik iletim hattının km başına reaktansı 0.304 Ω/faz'dır.

KAYNAKÇA

[1] Ay, S., *Enerji İletim Sistemleri Cilt 5*, 2. Baskı, Birsen Yayınevi, 2020.

[2] IEEE Std. 824, *IEEE Standard for Series Capacitor Banks in Power Systems*, 2004.

[3] IEEE Std. 1534, *IEEE Recommended Practice for Specifying Thyristor-Controllerd Series Capacitors*, 2009.

[4] IEEE Std. 1726, *IEEE Guide for the Functional Specification of Fixed-Series Capacitor Banks for Transmission System Applications*, 2013.

[5] IEC 60143-1, *Series Capacitors for Power Systems-Part 1: General*, 2015.

[6] Anderson, P.M., Farmer, R.G., *Series Compensation of Power Systems*, PBLSH Inc., 1996.

[7] Sarmiento, H.G., Estrada, E., Naude, J., Tovar, C., Avila, M.A., Fuentes, C., *An Example in Sizing a Series Compensation Scheme with Fixed and Variable Capacitors*, Seventh International Conference on AC and DC Transmission, 28-30 November 2001, London, UK, 72-77.

[8] Grünbaum, R., Halvarsson, P., Jones, P., *Series Compensation for Increased Power Transmission Capacity*, 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 19-21 April 2010, Brighton, UK, 1-6.

[9] Kincic, S., Rapic, M., *Impact of Series Compensation on the Voltage Profile of Transmission Lines*, IEEE Power&Energy Society General Meeting, 21-25 July 2013, Vancouver, Canada, 1-5.

[10] Miller, J., Brunet-Watson, M, Leighfield, J., *Review of Series Compensation for Transmission Lines*, Final Report, Specialist Consultants to the Electricity Industry (PSC), 2014.

[11] Eremia, M., Liu, C.C., Edris, A.A., *Advanced Solutions in Power Systems: HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence* (Chapter 6), IEEE Press, 2016.

[12] Shagalieva, A.I., Pershikov, G.A., Lyulina, M.A., Balyaev, A.N., *Analytical Investigation of AC Transmission Line Operation with Series Compensation Facilities*, IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, Saint Petersburg and Moscow, Russia, 28-31 January 2019, 1054-1059.

[13] Heffernan, A., Courtney, J., *Series Compensation to Increase Power Flow: A Case Study on the Irish Transmission System*, 54th International Universities Power Engineering Conference, 3-6 September 2019, Bucharest, Romania, 1-5.

[14] Ordonez, C.A., Gomez-Exposito, A., Maza-Ortega, J.M., *Series Compensation of Transmission Systems: A Literature Survey*, Energies, 14(6), 1717, 2021.

[15] Gatta, F.M., Lauria, D., Quaia, S., Lauria, S., *Analytical Methods for Series Compensation of a Transmission Line*, International Journal of Electrical Power&Energy Systems, 145, 108647, 2023.

[16] Gonen, T., Hou, Y., *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design*, 4th Edition, CRC Press, 2025.

[17] Fraser, N.M., Jewkes, E.M., *Engineering Economics: Financial Decision Making for*

Engineers, 5th Edition, Pearson, 2013.

[18] Ay, S., *Mühendislikte Ekonomik Analiz*, Birsen Yayınevi, 2021.

[19] Park, C.S., *Contemporary Engineering Economics*, 7th Edition, Pearson, 2023.

[20] Blank, L., Tarquin, A., Engineering Economy, 9th Edition, McGraw Hill, 2024.

[21] Sullivan, W.G., Wicks, E.M., Wilck, J.H., *Engineering Economy*, 18th Edition, Pearson, 2025.

ANALYSIS OF THE TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF TM-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES THROUGH MULTILAYER DIELECTRIC STRUCTURES

Assoc. Prof. Dr. Fadıl Kuyucuoğlu
Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical-Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
fadil.kuyucuoglu@cbu.edu.tr , ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0134-0491

ABSTRACT

In this study, the transmission characteristics of TM-polarized electromagnetic waves incident on a structure composed of planar, lossless dielectric layers are investigated. The frequency-dependent transmission behavior is analyzed for both normal and oblique incidence on the multilayer structure. It is observed that the transmittance reaches unity at specific frequencies. For three-layer configurations, the effect of the thickness of the dielectric material in the middle layer on the transmittance is presented graphically. In addition, transmittance curves are obtained for oblique incidence on a single dielectric layer, revealing that the transmittance decreases as the angle of incidence increases. In conclusion, transmittance variations are examined as functions of frequency and layer thickness, and the obtained results are presented and supported by graphical representations.

Keywords: Dielectric, TM-polarized electromagnetic wave, Transmission

1. INTRODUCTION

Investigations into the transmission characteristics of electromagnetic waves propagating through dielectric films have attracted considerable interest in the literature. At optical frequencies, the electromagnetic response of such structures has been extensively studied in various configurations, including photonic band-gap structures [1], metal–dielectric stacks [2], metallodielectric nanostructures [3], thin metal films [4], metamaterial-based dielectric stacks [5], subwavelength hole arrays [6], and electrically small apertures [7].

This work presents an analytical investigation of the propagation characteristics of a TM-polarized plane electromagnetic wave in multilayer dielectric films. Under oblique incidence, the wave undergoes successive reflection and transmission processes at the interfaces separating adjacent layers. The transmitted field is evaluated, and the resulting transmittance is analyzed with respect to frequency and the thickness of the intermediate dielectric layer. Interface phenomena are modeled using Snell's law, whereas the global transmission response of the structure is computed through the transfer matrix formalism. The influence of incidence angle, refractive index contrast, and layer thickness on the transmission behavior is systematically examined and illustrated through graphical results.

2. MATERIALS AND METHODS

We consider a TM-polarized electromagnetic wave obliquely incident on a multilayer geometry. The schematic of the problem geometry is shown in Fig. 1.

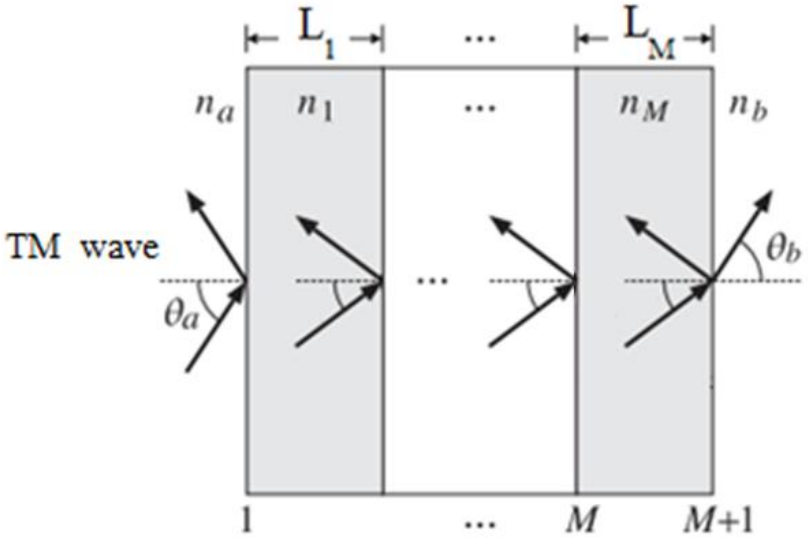


Figure 9 Problem Geometry

Reflection and transmission at the interfaces occur in accordance with Snell's law, as expressed in Eq. (1).

$$n_a \sin\theta_a = n_1 \sin\theta_1 \qquad (1)$$

Here, n denotes the refractive index of the medium and θ represents the angle of incidence. After determining all refraction angles, the total transmission of the structure is obtained by applying the transfer matrix method.

3. RESULTS

Initially, the dependence of transmittance on the angle of incidence is analyzed for a single dielectric layer with a refractive index of 2 and a thickness equal to half the wavelength. Figure 2 depicts the transmittance response as a function of the normalized frequency.

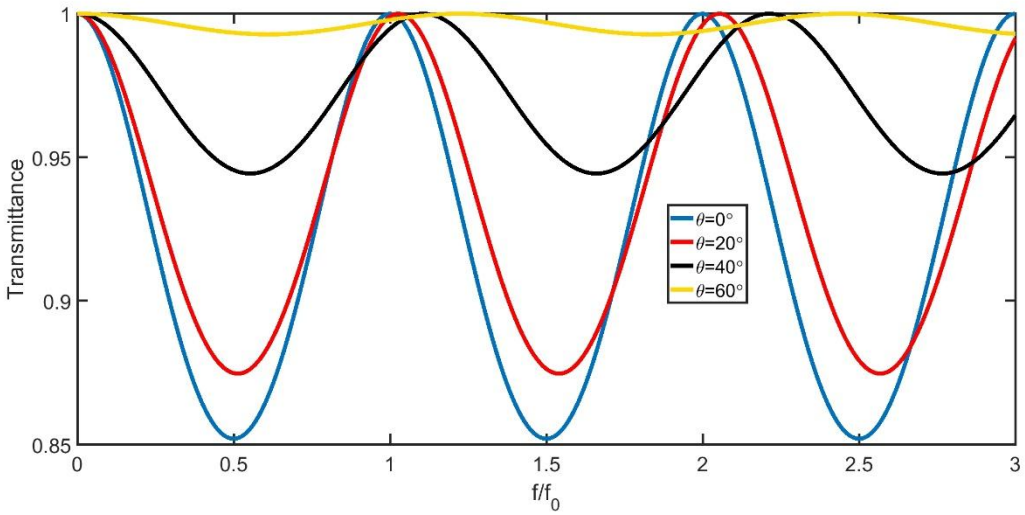


Figure 2 Tranmittance versus normalized frequency for half wavelength slab

An initial analysis is performed for normal incidence, under which the transmittance attains its minimum values. As the angle of incidence is increased to 20°, a noticeable enhancement in transmittance is observed. Further increases in the incidence angle to 40° and 60° lead to transmittance levels that asymptotically approach unity.

Subsequently, the dependence of transmittance on the air-gap thickness is examined for a wave propagating from a medium with a refractive index of 3 into an air layer and then into a medium with refractive index of 5.

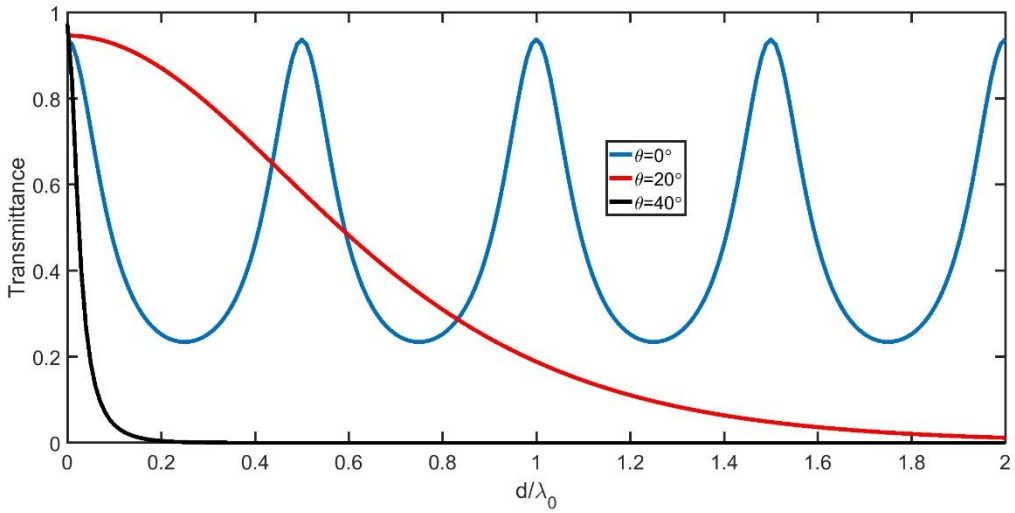


Figure 3 Transmittance versus normalized slab length for various incidence angles at design frequency (n_a=3, n_1=1,n_b=5)

As illustrated in Fig. 3, under normal incidence the transmittance exhibits a periodic response with a period equal to half the wavelength. Increasing the angle of incidence to 20° results in a reduction in the transmittance. At an incidence angle of 40°, the transmittance rapidly diminishes and approaches zero.

4. CONCLUSIONS

In conclusion, the transmittance behavior of a TM-polarized plane electromagnetic wave interacting with multilayer dielectric structures has been systematically investigated. The

analysis considers the influence of incidence angle, layer thickness, and refractive index on the transmission characteristics of the structure.

REFERENCES

1. M. Scalora, M. J. Bloemer, A. S. Pethel, J. P. Dowling, C. M. Bowden, and A. S. Manka, "Transparent, metallodielectric, one-dimensional, photonic band-gap structures," J. Appl. Phys. 83, 2377–2383 (1998).

2. M. R. Gadsdon, J. Parsons, and J. R. Sambles, "Electromagnetic resonances of a multilayer metal-dielectric stack," J. Opt. Soc. Am. B 26, 734–742 (2009).

3. S. Feng, J. M. Elson, and P. L. Overfelt, "Transparent photonic band in metallodielectric nanostructures," Phys. Rev. B 72, 085117 (2005).

4. I. R. Hooper and J. R. Sambles, "Some considerations on the transmissivity of thin metal films," Opt. Express 16, 17249–17256 (2008).

5. C. A. M. Butler, J. Parsons, J. R. Sambles, A. P. Hibbins, and P. A. Hobson, "Microwave transmissivity of a metamaterial-dielectric stack," Appl. Phys. Lett. 95, 174101 (2009).

6. T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. F. Ghaemi, T. Thio, and P. A. Wolff, "Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays," Nature (London) 391, 667–669 (1998).

7. F. Medina, F. Mesa, and R. Marques, "Extraordinary transmission through arrays of electrically small holes from a circuit theory perspective," IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 56, 3108–3120 (2008).

SMPS UYGULAMALARI İÇİN DOĞRUSAL OLMAYAN İNDÜKTÖR MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Halime HIZARCI
Sakarya Üniversitesi
hhizarci@sakarya.edu.tr - 0000-0002-5720-6996

ÖZET

Anahtarlamalı güç kaynaklarında (SMPS) yüksek güç yoğunluğu ve yüksek verim hedefleri, manyetik elemanların boyutlarının küçültülmesini ve daha etkin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, indüktörlerin kısmi doyum bölgesinde çalıştırılması, hacim ve maliyet açısından önemli avantajlar sunan bir tasarım yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel tasarım yöntemlerinde genellikle indüktansın sabit olduğu ve indüktör akım dalga şeklinin ideal olarak üçgen formda seyrettiği varsayılmaktadır. Ancak indüktörün doygunluğa yakın çalıştığı durumlarda, manyetik malzemenin doğrusal olmayan davranışı nedeniyle bu varsayımlar geçerliliğini yitirmektedir. Bunun sonucunda akım dalga şeklinde bozulmalar meydana gelmekte; bu durum güç kayıplarının artmasına, elektromanyetik girişim (EMI) seviyelerinin yükselmesine ve manyetik elemanlarda termal zorlanmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle, kısmi doyum koşullarında çalışan ferrit nüveli indüktörlerin doğru şekilde modellenmesi, SMPS tasarımında kritik bir gerekliliktir. Bu çalışmada, indüktansın indüktör akımının doğrusal olmayan bir fonksiyonu olarak tanımlandığı analitik davranışsal modelleme yaklaşımları ele alınmış ve bu yaklaşımlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İndüktör modelleme, anahtarlamalı güç kaynakları, doğrusal olmayan indüktans.

COMPARATIVE EVALUATION OF NONLINEAR INDUCTOR MODELS FOR SMPS APPLICATIONS

ABSTRACT

In switched-mode power supplies (SMPSs), the pursuit of high-power density and high efficiency necessitates the miniaturization and more effective utilization of magnetic components. In this context, operating inductors in the partial saturation region has emerged as a design approach that offers significant advantages in terms of volume and cost. Conventional design methodologies typically assume a constant inductance and an ideally triangular inductor current waveform. However, when the inductor operates close to saturation, these assumptions lose their validity due to the nonlinear behavior of the magnetic material. As a consequence, distortions in the current waveform may occur, leading to increased power losses, elevated

electromagnetic interference (EMI) levels, and severe thermal stresses in magnetic components. Therefore, accurate modeling of ferrite-core inductors operating under partial saturation conditions has become a critical requirement in SMPS design. In this study, analytical behavioral modeling approaches in which the inductance is defined as a nonlinear function of the inductor current are addressed and comparatively evaluated.

Keywords : Inductor modeling, switched mode power supply, nonlinear inductance

1. GİRİŞ

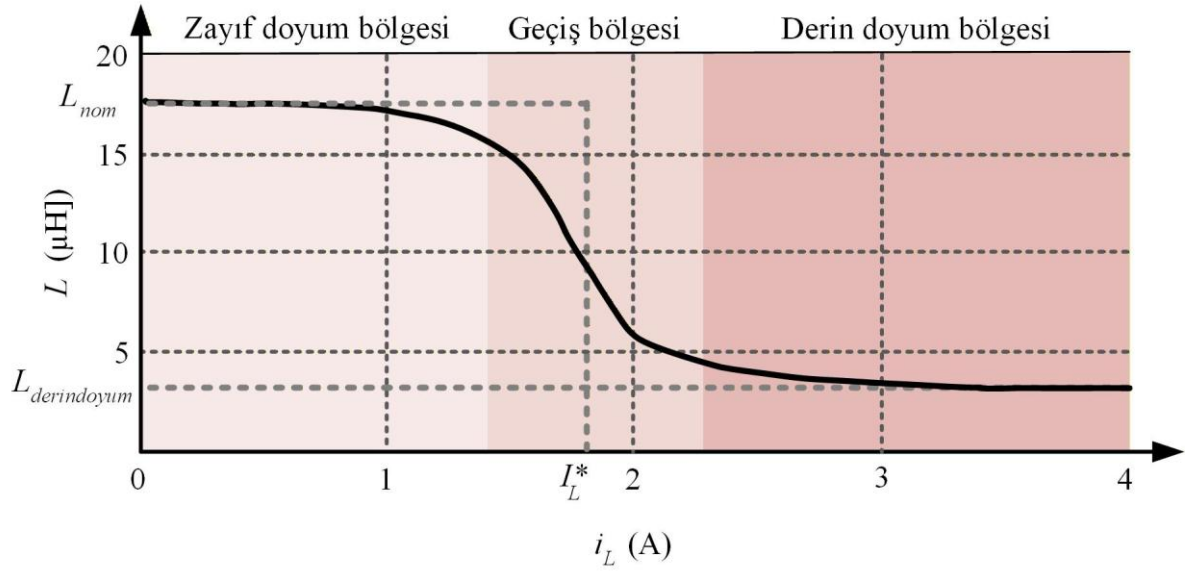
Güç elektroniği devrelerinde hacim ve ağırlığın sınırlandırılmasıyla güç yoğunluğunun artırılması temel tasarım gereksinimleri arasında yer alır. Anahtarlamalı güç kaynaklarında (SMPS) güç yoğunluğunu artırmak için güç indüktörünün indüktans değerinin (L) yaklaşık yarısına düştüğü noktaya kadar olan geniş bir akım aralığında çalıştırılabilir. Bu yaklaşım sayesinde indüktörün doğrusal olmayan bölgeye itilmesi yoluyla indüktör boyutu küçültülerek küçük boyutlarda ve düşük maliyetli güç indüktörü tasarımı ile güç yoğunluğu artırılabilmektedir [1-3].

İndüktans değişimine akım tarafından bakıldığında ise indüktansın yarıya düştüğü bölgede çalışan indüktörün akım şekli doğrusal olmayan bir karakteristik sergiler. Bu nedenle literatürde doğrusal olmayan indüktör tanımı yer alır ve indüktörün akımı arttıkça indüktans değeri azalır. Genel olarak manyetik nüve üzerine sarılan tüm indüktörler doğrusal olmayan bir davranış gösterir ancak geleneksel tasarım yaklaşımında indüktansın yaklaşık olarak sabit kaldığı bir akım aralığı kullanılır. Bu yaklaşım nedeniyle bu indüktörlere doğrusal indüktör adı verilir.

Güç indüktörlerinin doğrusal olmayan modellerinin derlendiği bir çalışmada analitik modellerin karşılaştırması yapılmıştır [4]. Bu çalışmada literatürde sıkça kullanılan ve indüktans değişim şekline benzer matematiksel fonksiyonlar olan polinomsal [5] ve ters tanjant [6] modellerinin yanı sıra daha önce karşılaştırmaya dahil edilmemiş DA süperimpozisyon modeli kullanılarak karşılaştırmalı değerlendirme yapılmıştır. Doğrusal olmayan indüktör modelleri senkron alçaltıcı dönüştürücü üzerinde simülasyon çalışması ile incelenmiştir.

2. DOĞRUSAL OLMAYAN GÜÇ İNDÜKTÖRLERİNİN MODELLENMESİ

Bir indüktörün manyetik özellikleri, nüve malzemesiyle doğrudan ilişkilidir. Ferrit nüveler, geniş bir frekans aralığında yüksek özdirence ve düşük kayıplara sahip olması nedeniyle, SMPS'lerde yaygın kullanıma sahiplerdir. Görsel 1'de tipik bir ferrit nüveli güç indüktörünün indüktans değerinin akımın bir fonksiyonu olarak değişimi görülmektedir. Zayıf doyum bölgesindeki akım aralığında indüktör sabit bir indüktans değerindedir. Bu akım aralığının daha yüksek değerlere doğru genişletilmesiyle, indüktanstaki azalma belirgin hâle gelir (geçiş bölgesi) ve bu durumda akım dalga şeklinin geleneksel doğrusal indüktör için geçerli olan üçgensel formdan farklılaşmasına neden olur. Akım arttıkça indüktans değeri düşer ve indüktör derin doyum bölgesine doğru geçerek en düşük indüktans değerine ($L_{derindoyum}$ veya L_{dsat}) ulaşır.



Görsel 1. Ferrit nüveli indüktör için akım-indüktans eğrisi [7]

Görsel 1'deki eğrinin şekline bakıldığında matematiksel fonksiyonlarla modellenebildiği görülmektedir. Sırasıyla polinomsal, arktanjant ve DA süperimpozisyon modelleri olarak adlandırılan doğrusal olmayan indüktör modellerinin detaylı analizleri sunulmuştur.

Polinomsal Model: Üçüncü dereceden polinom fonksiyonu olarak ifade edilen bu modelde indüktansın akımla değişimi en düşük ve en yüksek indüktans değerleri ile ortalama bir düşüş gösteren eğriyle Denklem (1) ile modellenmiştir.

$$L[I_L(t)] = \sum_{n=0}^{3} L_n \,.\, i_L^m \tag{1}$$

Model doğruluğunu artırmak için en küçük kareler regresyonu kullanılarak polinom katsayıları belirlenir. Bu çalışmada polinom katsayıları MATLAB'de *polyfit* fonksiyonu kullanılarak belirlenmiştir.

Arktanjant Modeli: İndüktör doyma grafiğinin arktanjant fonksiyonuna benzeyen şeklinden yola çıkılarak önerilen arctan modelinde sabit bir fonksiyon değerinden başlanarak artan bağımsız değişken ile yavaşça daha düşük bir sabit değere ulaşılmaktadır. Bu modelde bilinmesi gereken parametreler nominal indüktans değerini ifade eden L_{nom}, nominal indüktans değerinin %30 ve %70'ine karşılık gelen $L_{(\%30)}$, $L_{(\%70)}$ parametreleri ile derin doyum bölgesindeki indüktans değeri olan L_{dsat}'tır. L_{nom} ve L_{dsat} değerleri üretici veri dosyaları incelenerek bulunur. Bu dört parametre cinsinden akımın bir fonksiyonu olarak indüktans değeri $L[I_L(t)]$ Denklem (2) ile hesaplanır.

$$L[I_L(t)] = L_{dsat} + \frac{L_{nom} - L_{dsat}}{2}\left\{1 - \frac{2}{\pi} arctan\{\sigma\,.\,[i_L(t) - I_L^*]\}\right\} \tag{2}$$

Burada;

$$\Gamma_{\%30} = \frac{L_{\%30} - L_{dsat}}{L_{nom} - L_{dsat}} \quad \Gamma_{\%70} = \frac{L_{\%70} - L_{dsat}}{L_{nom} - L_{dsat}} \quad \sigma = \frac{\cot(\pi\Gamma_{\%30}) - \cot(\pi\Gamma_{\%70})}{I_{\%30} - I_{\%70}}$$

$$I_L^* = \frac{I_{\%70} \,.\, \cot(\pi\Gamma_{\%30}) - I_{\%30} \,.\, \cot(\pi\Gamma_{\%70})}{\cot(\pi\Gamma_{\%30}) - \cot(\pi\Gamma_{\%70})}$$

olarak ifade edilir. Bazı çalışmalarda $L[I_L(t)]$'nin L_{nom}'un asimptotu olduğu bu arctan modelinde L_{nom} değerinin %30 ve %70'ine karşılık gelen değerler yerine %10 ve %90 değerleri de kullanılmaktadır [8].

DA Süperimpozisyon Modeli: Manyetik nüvelerin DA süperimpozisyon karakteristiği denkleminden türetilen modelde indüktans değerinin akıma göre değişimi Denklem (3) ile gösterilmiştir [9].

$$L(I) = L_0 \frac{1 + \frac{p}{1 + (I/q)^r}}{1 + p} \tag{3}$$

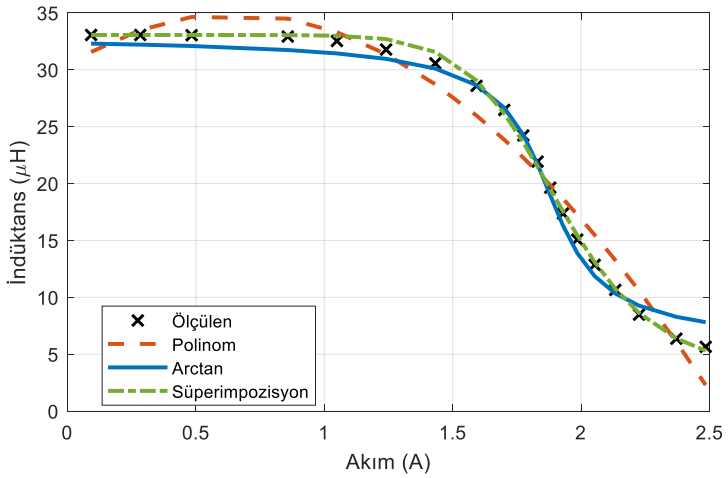
Burada L_0, 0A DA bias akımındaki indüktans değerini gösterirken, p, q ve r parametreleri ise eğri uydurma parametreleridir.

3. DOĞRUSAL OLMAYAN İNDÜKTÖR MODELİNİN SMPS DEVRELERİNE UYGULANMASI

İndüktörün doğrusal olmayan modellerinin incelenmesi için senkron alçaltıcı dönüştürücü devresinin simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

3.1. Simülasyonda Kullanılan Ferrit İndüktörün Doğrusal Olmayan Modeli

Doğrusal olmayan indüktör modelinin simülasyon çalışmasında Würth Elektronik'e ait 7447779133 kodlu SMT Manganez Çinko ferrit nüveli güç indüktörü kullanılmıştır. Bu indüktöre ait üretici ölçüm değerleri ve bu değerler üzerinden oluşturulan doğrusal olmayan indüktör modellerinin akım-indüktans eğrileri Görsel 2'de verilmiştir.



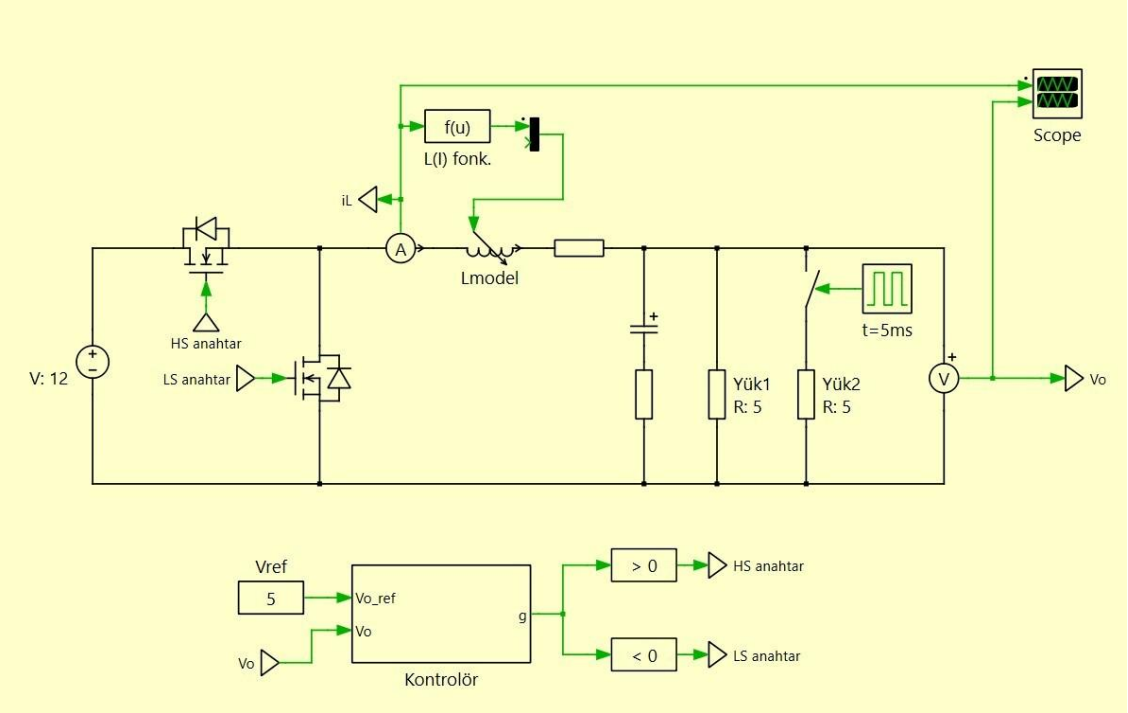
Görsel 2. Doğrusal olmayan indüktör modellerinin karakteristik eğrilerinin karşılaştırması

Üretici verilerine göre nominal indüktans değeri 33µH olan indüktörün anma akım değeri 1.13A iken doyum akımı ise 1.7A'dir.

3.2. Senkron Alçaltıcı Dönüştürücü Devresi

Senkron alçaltıcı dönüştürücüler taşınabilir ve pille çalışan elektronik cihazlar gibi düşük gerilim ve düşük güç uygulamalarında SMPS'lerde küçük boyut ve yüksek verimlilik gibi kritik tasarım özelliklerini sağlayabilen güç dönüştürücülerdir. Bu dönüştürücüler, standart alçaltıcı dönüştürücülerdeki anahtarlama diyotunun yerine bir güç MOSFET ile kullanılmasıyla güç kayıplarını azaltılmasını sağlar. Böylece, tipik olarak gerilim düşümü 0.5-1 V aralığında olan diyot yerine düşük dirençli bir iletim yolu yerleştirilerek (MOSFET) güç dönüştürme verimliliği artırılabilir.

Görsel 3'te şematiği verilen senkron alçaltıcı devresinde kaynak tarafındaki anahtar (high-side) iletken duruma geçtiğinde, indüktöre uygulanan doğru akım (DA) gerilimi $V_{giriş}-V_{çıkış}$ değerine eşit olur ve bu durum indüktör akımının pozitif doğrusal bir eğimle artmasına neden olur. Buna karşılık, yükteki anahtar kesime girdiğinde ve alt anahtar (low-side) iletken olduğunda, endüktöre uygulanan gerilim $-V_{çıkış}$ değerine eşit hale gelir ve endüktör akımı negatif doğrusal bir eğimle azalır. Senkron alçaltıcı devresinde üst ve alt anahtarlar senkronize olarak çalışır.



Görsel 3. Doğrusal olmayan indüktör modelinin senkron alçaltıcı devresine uygulanması

Her iki anahtarın da aynı anda devreye girmesini önlemek ve anahtarlar arasında shoot-through (kısa devre) akımının oluşmaması için, üst anahtarın kesime girmesi ile alt anahtarın iletime geçmesi arasına (tersi durumda da) her iki anahtarın da kapalı olduğu bir ölü zaman (dead time) eklenir. Sürekli akım modunda çalışan senkron alçaltıcı devresinde indüktör akımı asla sıfırın altına inmez.

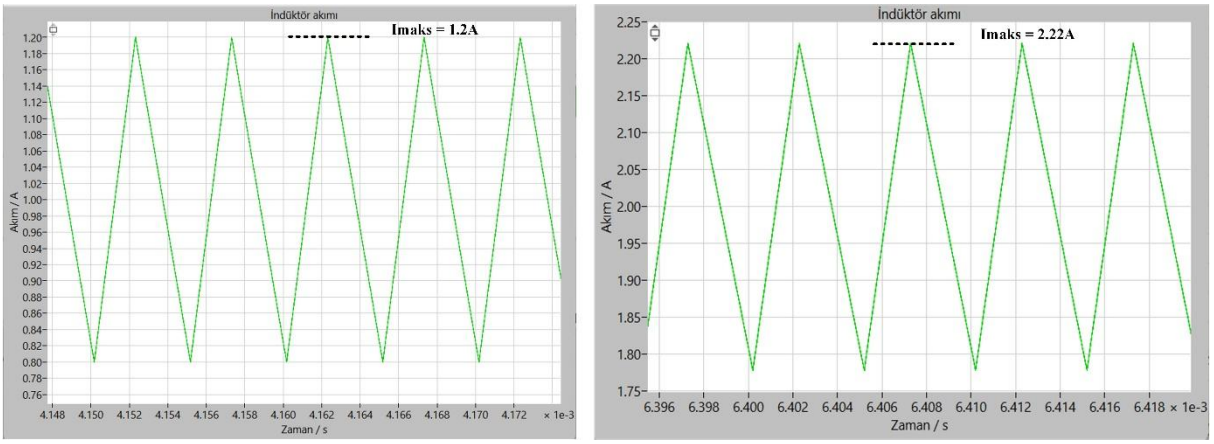
PLECS ortamında hazırlanan simülasyondaki devre parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Senkron alçaltıcı devre simülasyonu için parametreler

Parametre	**Değer**
$V_{giriş}$	12V
$V_{çıkış}$	5V
Anahtarlama frekansı	200kHz
Endüktans	33µH
Kapasitör	15µF

Çizelge 1'de parametreleri verilen senkron alçaltıcı dönüştürücü devresinin simülasyonunda indüktör akımının farklı değerlerindeki indüktans değişimini görmek için kademeli yük sistemi kullanılmıştır. Anahtarların aynı anda devreye girmemesi için de ölü zaman süresi 30ns olarak seçilmiştir.

İlk simülasyonda doğrusal indüktör modeli için sabit indüktans değeri ile görüntü alınmıştır. Görsel 4a ve Görsel 4b'de sırasıyla ortalama indüktör akımının 1A ve 2A iken akım dalga şekli verilmiştir. Her iki durum için de indüktans değeri aynı kaldığı için dalga şekli üçgen şeklindedir ve herhangi bir bozulma görülmemiştir.

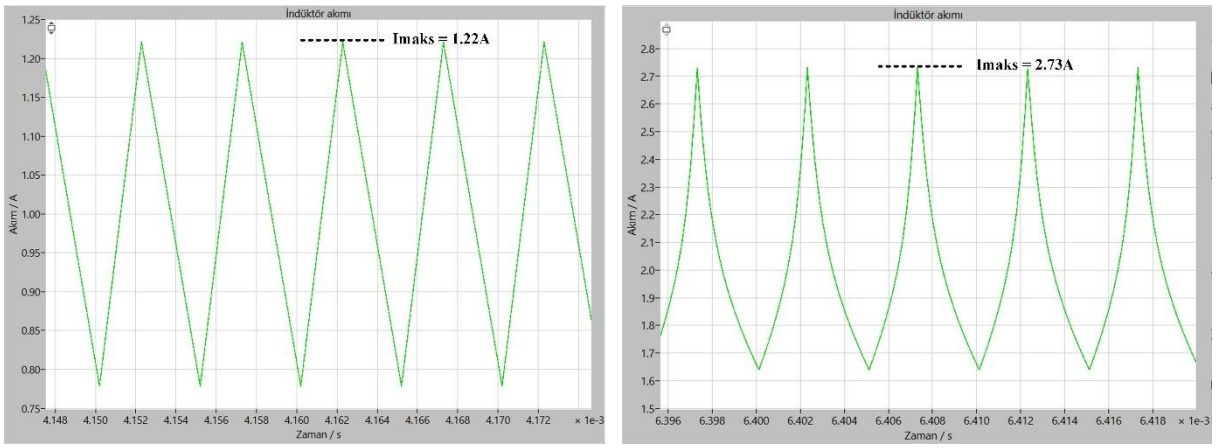


a) b)

Görsel 4. Doğrusal indüktör akımı dalga şekli a) 1A b) 2A

İkinci simülasyon çalışmasında ise doğrusal olmayan indüktör modeli kullanılarak simülasyon aynı parametrelerle tekrarlanmıştır. Görsel 5a'da doğrusal indüktör modeline benzer şekilde akım dalga şekli düzgün üçgen formundayken Görsel 5b'de dalga şeklindeki bozulma daha net görülmektedir.

İndüktör akımı dalga şekli üçgen formdan uzaklaşarak tepe değerinde daha sivri bir hal almış ve tepe akım değeri de artmıştır.



a) b)

Görsel 5. Doğrusal olmayan indüktör akımı dalga şekli a) 1A b) 2A

İndüktörün doyum bölgesinde çalıştırılması ile boyut ve maliyetin azaltılması bilinen bir uygulama yöntemidir. Ancak Görsel 5'ten de görüleceği üzere doyum bölgesinde çalışan indüktörün akım şekli klasik üçgen dalga şeklinden uzaklaşmakta ve tepeden tepeye akım değerinde de artış meydana gelmektedir. İndüktör akımının dalga şeklindeki bu bozulma frekans domeninde EMI gürültünün artmasına neden olmaktadır. Bu da EMI filtre boyutunu artıracağından dönüştürücü tarafındaki boyut ve maliyet azaltma yöntemi tüm sistemin güç yoğunluğunu etkileyecektir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada literatürde yer alan doğrusal olmayan indüktör modelleri karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan indüktans eğrilerinin analizi, polinomsal modelde indüktansın hafif azaldığı zayıf doyum bölgesinde indüktansın hatalı biçimde arttığı öngörmektedir. Arctan modeli ise indüktans eğrisinin geçiş bölgesindeki davranışı başarıyla temsil edebildiği ancak derin doyum bölgesine yaklaşıldığında güvenilirliğinin düştüğü göstermektedir. Buna karşılık DA süperimpozisyon model geçiş bölgesinde daha zayıf bir tahmin öngörüsü sunarken genel olarak indüktörün tüm çalışma aralığındaki davranışını tanımlayabilmektedir.

Doğrusal olmayan indüktör modelinin SMPS devrelerine uygulanması örneği olarak senkron alçaltıcı dönüştürücü için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Doğrusal olmayan indüktör modelinin dönüştürücü performansına etkisi indüktör dalga şekilleriyle gösterilmiştir. İndüktörün doyuma gitmesi nedeniyle dalga şeklindeki bozulmalar belirgin hal almaktadır. Endüstriyel uygulamalarda indüktör değerini dolayısıyla boyutunu ve maliyetini düşürmek için indüktörün derin doyum bölgesinde çalışması istenebilir. Ancak bunun karşılığında dalga şeklindeki bozulmalar EMI üzerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır. Sonuç olarak SMPS tasarımında güç yoğunluğunu etkileyecek olan bu yaklaşımın göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. Perdigão, M. S., Trovão, J. P. F., Alonso, J. M., Saraiva, E. S. Large-Signal Characterization of Power Inductors in EV Bidirectional DC–DC Converters Focused on Core Size Optimization, IEEE Transactions on Industrial Electronics, May, 62,5, 2015.
2. Kaiser, J., Dürbaum, T. An Overview of Saturable Inductors: Applications to Power Supplies, IEEE Transactions on Power Electronics, September, 36,9, 2021.
3. Di Capua, G., Femia, N. A Novel Method to Predict the Real Operation of Ferrite Inductors With Moderate Saturation in Switching Power Supply Applications, IEEE Transactions on Power Electronics, March, 31,3, 2016.
4. Oliveri, A., Lodi, M., Storace, M. Nonlinear Models of Power Inductors: A Survey, International Journal of Circuit Theory and Application, 50, 2022.
5. Lullo, G., Scirè, D., Vitale, G. Non-linear Inductor Modelling for a DC/DC Buck Converter, Renewable Energy and Power Quality Journal, April, 1, 2017.
6. Di Capua, G., Femia, N. A Novel Method to Predict the Real Operation of Ferrite Inductors with Moderate Saturation in Switching Power Supply Applications, IEEE Transactions on Power Electronics, 31, 2016.
7. Di Capua, G., N. Femia, K. Stoyka, M. Lodi, A. Oliveri and M. Storace, "Ferrite inductor models for switch-mode power supplies analysis and design," 2017 14th International Conference on Synthesis, Modeling, Analysis and Simulation Methods and Applications to Circuit Design (SMACD), Giardini Naxos, Italy, 2017.
8. Scirè, D., Lullo, G., Vitale, G. Non-Linear Inductor Models Comparison for Switched-Mode Power Supplies Applications, Electronics, 11, 2472, 2022.
9. Nomura, K., Chizuwa, S., Masuzawa, T. High-Frequency Equivalent Circuit of a Ferrite Common Mode Choke Considering DC Superimposition Characteristics, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA, USA, 2024.
10. https://www.we-online.com/components/products/datasheet/7447779133.pdf (Erişim tarihi: 12.11.2025)

TRANSFORMATÖR ALTINDA ANTİVİBRASYON PEDİ KULLANILARAK SES SEVİYESİ DÜŞÜRÜLECEK 20(26) MVA 115/33 KV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ

Sıla YETER

Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş,

sila.yeter@betaenerji.com - ORCID ID

ÖZET

Bu çalışmada, güç transformatörlerinde işletme sırasında ortaya çıkan mekanik titreşimlerin zemine iletimini azaltarak çevresel gürültü seviyesini düşürmek amacıyla 20(26) MVA 115/33 kV güç transformatörünün tasarımı tamamlanmış ve prototip üretimine başlanmıştır. Gürültü kontrolü hedefi doğrultusunda, transformatör tabanı ile transformatörün yerleştirileceği zemin arasına elastomer esaslı antivibrasyon ped sistemi entegre edilecektir. Ped tasarımında yük taşıma kapasitesi, rijitlik, sönümleme katsayısı ve dış ortam koşullarına dayanım gibi parametreler detaylı şekilde değerlendirilmiştir. Yük dağılımı, titreşim iletim yolları ve montaj geometrisi, hem mekanik dayanım hem de akustik performans açısından optimize edilmiştir.

Antivibrasyon ped sistemi, düşük frekanslı titreşimlerin etkin biçimde yalıtılmasını sağlayarak transformatörün çalışması sırasında oluşan gürültü seviyesinin belirgin biçimde azalmasına olanak tanımaktadır. Modüler ve değiştirilebilir yapısı sayesinde bakım ve montaj süreçleri kolaylaşmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle yerleşim alanlarına yakın kurulumlarda çevresel gürültü kriterlerinin karşılanması açısından önemli bir mühendislik çözümü sunmaktadır. Proje kapsamında geliştirilen tasarımın, enerji iletim sistemlerinde daha sürdürülebilir, çevreye duyarlı ve yüksek performanslı transformatör uygulamalarına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Güç transformatörü, antivibrasyon ped, titreşim yalıtımı, gürültü kontrolü, elastomer malzeme.

12MVA 6,3-10,5KV YG-YG KURU TİP TRANSFORMATÖR PROTOTİP İMALATI VE TESTLERİ

Hamza BİRGENÇ
Beta Enerji Anonim Şirketi

hamza.birgenc@betaenerji.com

ÖZET

Transformatör (trafo), elektrik enerjisinin gerilim seviyesini yükseltmek veya düşürmek için kullanılan bir elektrik makinesidir. Alternatif akım (AC) ile çalışır. Kuru tip transformatör, içinde yağ bulunmayan, izolasyonun hava veya reçine (epoksi) ile sağlandığı bir transformatör türüdür. Güç transformatörleri alternatif akım (AC) gerilimini belirli bir seviyede yükseltmek veya alçaltmak için kullanılır. Güç transformatörleri, yüksek güç gerektiren uygulamalarda büyük veri merkezleri, elektrikli demiryolları ve büyük enerji santralleri gibi yerlerde kullanılır. Bunun yanında Kuru tip güç transformatörleri, enerji dağıtımında kullanılan bir tür transformatördür. Kuru tip terimi, bu transformatörlerin yalıtımının yağ yerine hava veya özel yalıtım malzemeleri kullanılarak sağlandığını ifade eder. Bu tür transformatörler, genellikle kapalı veya yarı kapalı alanlarda kullanılır ve düşük bakım çevre dostu, ekstrem hava koşullarına dayanıklılık gibi çeşitli avantajlar sunar. Kuru tip güç transformatörü ile ihtiyaç duyulan yüksek gücün bu transformatör sayesinde optimum şekilde çözülmesini sağlar. Kuru tip transformatör kullanarak çevre dostu düşük bakım maliyetli bir transformatör kullanılmış olur. 12 MVA dökme reçineli kuru tip transformatör, enerji iletim kayıplarını azaltarak kullanılan alanın enerji verimliliğini arttırır. Bu çalışmada, yüksek gerilim seviyelerinde kullanılan 12 MVA gücünde, 6.3–10.5 kV gerilim dönüşümlü YG–YG kuru tip transformatörün tasarım, performans ve uygulama özellikleri sunulmaktadır. Bahsi geçen 12 MVA YG–YG transformatör; kompakt tasarımı, yüksek kısa devre dayanımı, düşük kısmi boşalma seviyeleri ve etkin hava soğutmalı yapısıyla özellikle endüstriyel tesislerde, enerji santrallerinde ve kapalı alan yüksek gerilim uygulamalarında güvenilir bir çözüm sunmaktadır. Çalışmada ayrıca transformatörün verimlilik değerleri, termal performansı, izolasyon sistemi ve işletme güvenliği açısından sağladığı avantajlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, bu güç seviyesindeki kuru tip transformatörlerin modern enerji altyapılarında sürdürülebilir, güvenli ve bakım açısından ekonomik bir alternatif olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler : Dökme reçineli kuru tip transformatör, Güç transformatörü, Enerji iletimi

PREMAG SARGISI İLE MANYETİK ALANIN DÜZGÜN ŞEKİLDE OLUŞMASINI SAĞLAYACAK 23 MVA 33/33 KV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI , PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ

DİLARA GÜRKAN
Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş,
dilara.gurkan@betaenerji.com

ÖZET

Elektrik enerjisinin üretim noktalarından tüketim noktalarına güvenli ve verimli bir şekilde aktarılabilmesi, güç transformatörlerinin doğru şekilde tasarlanmasına ve işletilmesine bağlıdır. Enerji sistemlerinin en kritik bileşenlerinden biri olan güç transformatörleri, gerilim seviyelerinin düzenlenmesini ve güç akışının kontrol altında tutulmasını sağlar. Ancak bu ekipmanlar, özellikle devreye alma anlarında nüvede biriken artık manyetizasyon nedeniyle yüksek genlikli mıknatıslanma akımlarına maruz kalabilmektedir. Bu geçici fakat etkili akımlar, transformatör sargılarında mekanik zorlanmalara, nüvede manyetik doyuma ve koruma sistemlerinin hatalı tetiklenmesine yol açabilmektedir. Bu projede, 23 MVA, 33/33 kV güç transformatöründe devreye alma sırasında ortaya çıkan bu yüksek darbeli mıknatıslanma akımlarını azaltmak amacıyla Premag sargısı kullanılmıştır Premag sargısı, ana sargıdan bağımsız şekilde nüveye yerleştirilen ek bir sargı olup, devreye alma öncesinde nüveye kontrollü bir ön manyetizasyon akımı uygulanmasına olanak tanır. Böylece nüvedeki manyetik akı yoğunluğu dengeli biçimde dağılır, artık manyetizasyon giderilir ve manyetik doyumun oluşması önlenir. Devreye alma sürecinde Premagnetizasyon Ünitesi (PMU), Premag sargısına kademeli olarak akım uygular. Nüve manyetik açıdan dengeye ulaştığında, transformatör ana devreye alınır. Bu yöntem, ani akım tepe değerlerini büyük ölçüde azaltarak transformatörün elektromanyetik ve mekanik dengesini korur. Aynı zamanda koruma rölelerinin gereksiz tetiklenmesini önleyerek sistemin güvenli ve kararlı biçimde çalışmasını sağlar. Bu yöntem, yüksek güçlü transformatörlerde devreye alma sürecinin güvenilirliğini ve sistem kararlılığını önemli ölçüde artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Premag sargısı, Mıknatıslanma akımı, Bobin tasarımı

OTOMOTİV BOYA YÜZEYLERİNDEKİ RENK SAPMALARI VE MİKRO KUSURLARIN TESPİTİNDE YÜKSEK CRI (>97) AYDINLATMA KOŞULLARININ ROLÜ

Onur ÇELİK
EAE Aydınlatma A.Ş.,
onur.celik@eaegroup.com - 0009-0005-3248-4091
Melikenur ER
EAE Aydınlatma A.Ş.,
melike.er@eaegroup.com - 009-0009-6769-6405
Ramazan ALTIN
EAE Aydınlatma A.Ş.,
ramazan.altin@eaegroup.com - 0000-0002-3503-2948
Samet YAVAŞ
EAE Aydınlatma A.Ş.,
samet.yavas@eaegroup.com - 0009-0003-9815-4605
Burak DEMİROK
EAE Aydınlatma A.Ş.,
burak.demirok@eaegroup.com - 0009-0003-0122-5092
Sinan ŞAHİN
EAE Aydınlatma A.Ş.,
sinan.sahin@eaegroup.com - 0009-0006-1777-3423

ÖZET

Otomotiv son kat boya operasyonlarında görsel denetim süreçleri, ürün estetiği ve kalite standartlarının sağlanmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Ancak endüstride yaygın olarak kullanılan standart LED tabanlı aydınlatma sistemlerinin sınırlı spektral yapısı, özellikle çok katmanlı ve metalik boya yüzeylerinde metamerizme yol açmakta, mikro yüzey kusurlarının ve renk sapmalarının doğru algılanmasını güçleştirmektedir. Bu durum, operatör kaynaklı değerlendirme hatalarını artırarak kalite kontrol süreçlerinin güvenilirliğini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, ISO 3664 görsel denetim standartlarına uygun olarak tasarlanan ve yüksek renk doğruluğu hedefiyle spektral olarak optimize edilen aydınlatma sistemlerinin, otomotiv boya kalite kontrol performansına olan etkisi ele alınmıştır.

Araştırma kapsamında geliştirilen optik aydınlatma sisteminin spektral güç dağılımı, renk geriverim özellikleri ve fotometrik performansı detaylı olarak analiz edilmiş; sistemin doğrulaması gonyofotometrik ölçümlerle gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, optimize edilmiş spektral yapıya sahip ışık kaynaklarının, referans gün ışığı koşulları ve sıcak beyaz renk sıcaklıklarında spektral sürekliliği koruyarak Ra > 95 seviyesinde yüksek renk doğruluğu sağladığını göstermiştir. Ayrıca, bu aydınlatma koşulları altında boya pigmentlerinin gerçek renk doygunluğunun, yüzey kontrastının ve mikro kusurların daha net bir şekilde algılanabildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, tam spektruma yakın aydınlatma sistemlerinin metamerizm etkisini azalttığını, operatör kaynaklı hataları minimize ettiğini ve görsel denetim süreçlerinin tekrarlanabilirliğini ve doğruluğunu önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Renk Doğruluğu, Yüksek CRI, ISO 3664, Spektral Güç Dağılımı (SPD), Otomotiv Boya Kalitesi.

İSTİLACI *FISTULARIA COMMERSONII* VE *FISTULARIA PETIMBA* TÜRLERİNİN İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDEN YENİ KAYITLARI

Prof. Dr. Nuri BAŞUSTA
Fırat Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ
nbasusta@firat.edu.tr - 0000-0002-4260-4772

Prof. Dr. Gülnaz ÖZCAN
İskenderun Teknik Üniversitesi/ Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, İskenderun-Hatay
gulnaz.ozcan@iste.edu.tr – 0000-0003-1916-178X

ÖZET

Yabancı ve yayılımcı organizmalar bulundukları ekosistemler üzerinde ekolojik ve sosyo-ekonomik etkiler açısından önemli etkilere sahiptir. Bu nedenle istilacı organizmaların dağılım ve biyolojik özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, İskenderun Körfezi kıyılarında aynı cinse ait istilacı iki *Fistularia* türünün yeni kayıtları aynı bölgeden verilmiştir. İskenderun Körfezi'nde 27 Kasım 2025 tarihinde yaklaşık 55-65 m derinlikte yapılan ticari dip trol avcılığı sırasında toplam 14 adet *Fistularia petimba* ve 2 adet *Fistularia commersonii* bireyi yakalanmıştır. Balık bireyleri, soğuk zincirde Fırat üniversitesi, Balıkçılık Biyolojisi laboratuvarına getirilmiş ve türlere ait morfometrik ölçümler, meristik sayımlar ve cinsiyet kaydedilmiştir. Yakalanan *F. petimba* bireylerinin minimum ve maksimum standart boy ve ağırlıkları sırasıyla 358-443 mm ve 280-622 g olarak bulunmuştur. *F. commersonii* türüne ait minimum ve maksimum standart boy ve ağırlıklar ise sırasıyla 613-619 mm ve 1744-1760 g olarak bulunmuştur. Bu bulgular ile daha önce aynı bölgeden bildirilen *Fistularia* türlerinin birbirini izleyen yıllarda, benzer dönemlerde ve aynı bölgede bulunmaları o tür ya da türlerin o bölgede yerleştiğinin bir kanıtıdır. Dolayısı ile bu türlerin İskenderun Körfezi'nde başarılı bir şekilde yerleştiğini doğrulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Fistularia petimba*, *Fistularia commersoni*, Boru Balığı, Külah Balığı, İstilacı Türler, İskenderun Körfezi

1. GİRİŞ

Fistularia türleri genellikle Külah balığı, Kornet balığı veya Boru balığı gibi isimlerle anılırlar. Bu türlerden ticari balıkçılık açısından önemsiz bir tür olan *Fistularia commersonii* Rüppell, 1835, Meksika'dan Panama'ya kadar Doğu Pasifik'te, Güney Japonya, Avustralya ve Yeni Zelanda sularında, Doğu Afrika sularında ve Kızıldeniz'de yaygın olarak bulunur (Froese ve Pauly, 2025). *Fistularia petimba* Lacepède, 1803 türü ise Akdeniz deniz ekosistemi için Lesepsiyen istilacı bir yırtıcı olarak bilinmektedir (Corsini vd., 2002). *F. petimba*, Atlantik, Hint-Batı Pasifik ve Kızıldeniz'de geniş bir dağılıma sahiptir (Por, 1984; Banon ve Sande, 2008). Türün Doğu Akdeniz'deki ilk kayıtları 2014 yılında İskenderun Körfezi'nden ve 2016

yılında Antalya Körfezi'nden kaydedilmiştir (Ünlüoğlu vd., 2018). *F. commersonii* türünün son 10 yılda Akdeniz'de bir popülasyon oluşturduğu bildirilmiştir (Azzurro vd., 2013). Her iki türle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Türker-Cakir vd., 2014; Çiftci vd., 2019: Karan vd., 2019; Cerim vd., 2021; Ergüden vd., 2023; Bozkaya vd., 2023; Tsaousi, ve Kalogirou, 2024). Bu çalışmada, *F. commersonii* ve *F. petimba*'nın İskenderun Körfezi'ndeki yeni kayıtlarının yanı sıra her iki türün birlikte bulunurlukları üzerine ilk kayıtları verilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, İskenderun Körfezi kıyılarında aynı cinse ait istilacı iki *Fistularia* türünün yeni kayıtları aynı bölgeden verilmiştir. Balık örnekleri İskenderun Körfezi'nde 27 Kasım 2025 tarihinde yaklaşık 55-65 m derinlikte yapılan ticari dip trol avcılığı ile elde edilmiştir (Görsel 1).



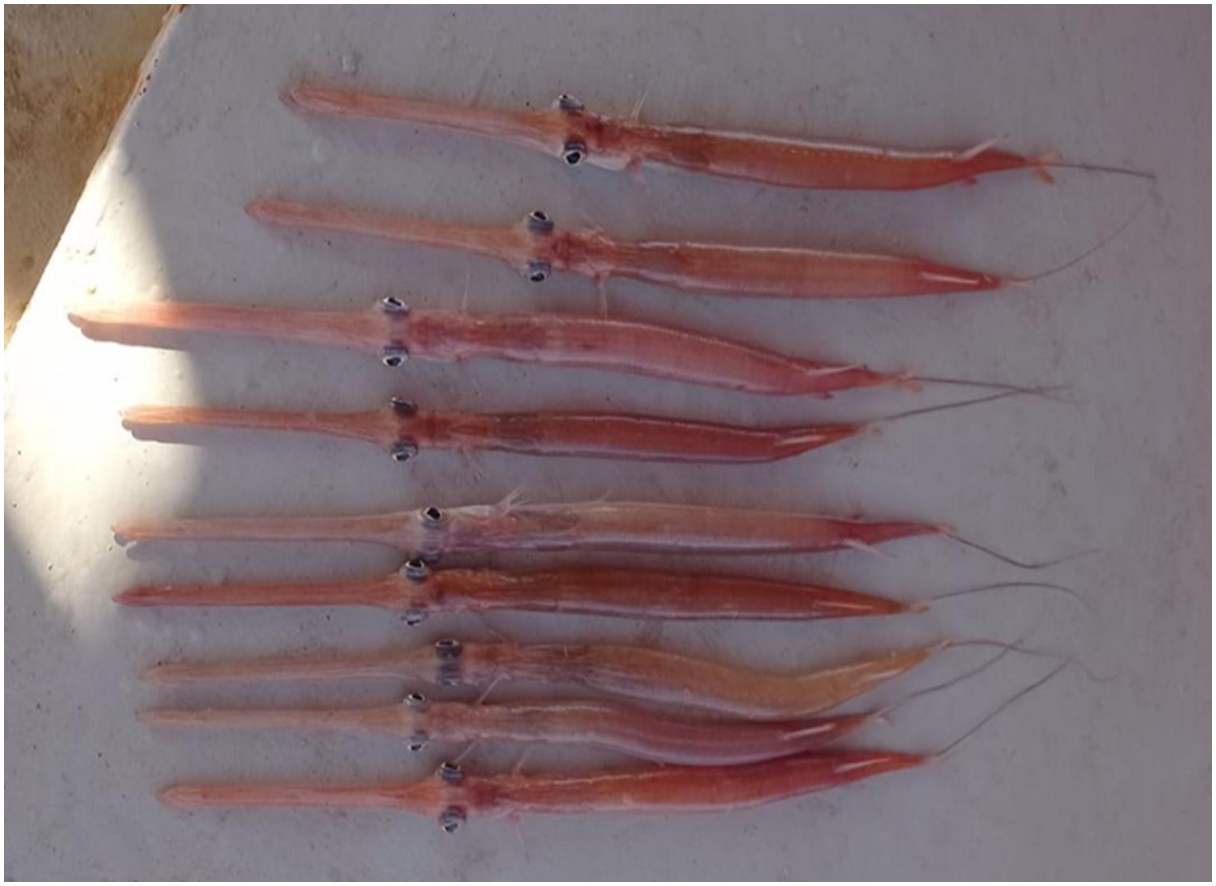
Görsel 1. İskenderun Körfezi *Fistularia* balıkları örnekleme alanı

Her iki türe ait balık bireyleri, soğuk zincirde Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Balıkçılık Biyolojisi laboratuvarına getirilmiş ve bireylerin tür teşhisleri Fritzsche (1990) ve Stern vd. (2017)'ne göre yapılmıştır. *Fistularia* türlerinin morfometrik ve meristik özellikleri incelenmiş, balık örneklerinin toplam boyu en yakın 0,1 cm'ye kadar ölçülmüş ve toplam ağırlığı 0,01 g hassasiyette tartılmıştır. *F. petimba* bireylerine Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Müzesinde (FSM 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74 ve *F. commersonii* bireylerine ise FSM 75 ve 76 olarak) Müze katolog numarası verilmiştir. *F. petimba*, morfolojik özelliklerine bakılarak, sırtın orta hattı boyunca deriye gömülü uzun kemik plakalar olması ve vücudunun pembe renkli olması ile ayırt edilmiştir (Görsel 2). Balık örneklerinin fotoğrafları Görsel 3 ve Görsel 4'de verilmiştir.



(A) (B)

Görsel 2. (A) *F. petimba*'nın ayırt edici morfolojik özelliği sırtın orta hattında kemik plakalar dizisinin bulunması, (B) *F. commersonii*'de bu plakaların bulunmaması.



. Görsel 3. İskenderun Körfezi'nde yakalanan *Fistularia petimba* bireyleri



Görsel 4. İskenderun Körfezi'nde yakalanan *Fistularia commersonii* bireyi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Toplam 14 *F. petimba* bireyi elde edilmiş bunlardan 7 tanesinin morfometrik ölçümleri alınmıştır. Yakalanan *F. petimba* bireylerinin minimum ve maksimum standart boy ve ağırlıkları sırasıyla 358-443 mm ve 280-622 g olarak bulunmuştur. *F. commersonii* türüne ait minimum ve maksimum standart boy ve ağırlıklar ise sırasıyla 613-619 mm ve 1744-1760 g olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Türlere ait diğer morfometrik ve meristik değerler Çizelge 1'de gösterilmektedir. *F. petimba* bireylerinde ön kısımda deriye gömülü kemiksi yapılar bulunmaktadır. İncelenen bireyler türlerin genel özelliklerini yansıtmaktadır. Her iki türe ait balık örneklerinin morfometrik ve meristik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Akdeniz, istilacı yabancı türler tarafından en çok istila edilen deniz alanlarından biridir. İstilacı yabancı türler biyoçeşitliliği, ekosistem hizmetlerini, insan sağlığını ve ekonomiyi etkiler. *F. commersonii* Akdeniz'de hızlı bir yayılım göstermiş ve sürdürülebilir popülasyonlar oluşturmuştur. Türün biyolojisi hakkında bazı bilgiler bulunmakla birlikte *F. petimba* türünde ise yok denecek kadar azdır. Her iki *Fistularia* türünün Akdeniz'de en hızlı ve en geniş alana yayılan yabancı balıklar olduğunu (Golani vd., 2007) göstermektedir. Bu yeni bulgular, İskenderun Körfezi'nin, *Fistularia* popülasyonlarının biyolojisi ve ekolojileri açısından en uygun yaşam alanlarından biri olduğunu göstermektedir. *F. petimba* türünün yetişkinleri tipik olarak 1 m uzunluğundadır ve bildirilen maksimum boyu 2 m'dir (Carpenter vd., 2015). Eldeki örneklere baktığımızda bu boyların oldukça gerisindedir. Bu da İskenderun Körfezi'nin genç bireyler için uygun beslenme alanı oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca her iki türün aynı avlanma bölgesinde bulunmaları türlerin benzer besinlerle beslendikleri anlamına da gelmektedir.

Çizelge 1. İskenderun Körfezi'nde Yakalanan *F. petimba* ve *F. commersonii* Türlerine Ait Mormetrik ve Meristik Özellikler

	F. petimba							***F. commersoni***	
Meristik sayımlar	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**1**	**2**
Dorsal Işın Sayısı	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Anal Işın Sayısı	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Pektoral Işın sayısı	15	15	16	15	15	15	16	15	16
Pelvik Işın sayısı	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Morfometrik ölçümler(mm)									
Toplam ağırlık (g)	504.0	280.0	648.0	458.0	367.0	542.0	506.0	1760.0	1744.0
Toplam Boy (filamentli)	572.0	507.0	552.0	602.0	540.0	590.0	544.0	730.0	760.0
Toplam Boy (filamentsiz)	454.0	375.0	468.0	456.0	401.0	445.0	445.0	654.0	646.0
Çatal Boy	444.0	365.0	457.0	445.0	393.0	436.0	435.0	632.0	634.0
Standart Boy	430.0	358.0	443.0	433.0	380.0	422.0	423.0	619.0	613.0
Baş Boyu	160.0	136.0	160.0	162.0	144.0	159.0	156.0	220.0	226.0
Pre-orbital Boy	12.0	10.0	16.0	12.0	12.0	12.0	11.5	19.0	18.5
Post-orbital Boy	15.0	10.0	18.0	13.0	13.0	12.8	12.0	19.4	18.5
Altçene Uzunluğu	10.0	9.0	11.0	10.0	9.0	9.0	8.0	14.3	13.5
Vücut Derinliği	13.0	10.0	14.0	11.0	10.5	11.0	11.2	17.8	17.2
Vücut Genişliği	20.0	16.0	23.0	19.0	16.0	19.0	19.0	31.0	32.1

F. commersonii türü için eşeysel olgunlukları aktif bireylerin boyları dişilerde 65 ila 113 cm TL, erkeklerde ise 51 ila 100 cm TL arasında değiştiği Bariche vd. (2013) ve Kondylatos vd. (2024) tarafından rapor edilmiştir. Yakalanan *F. commersonii* bireylerinin boylarına bakıldığında eşeysel olgunluğa ulaştıkları söylenebilir. Yine *F. petimba* üreme açısından aktif bireylerin boyları dişilerde 38,3 ila 53,5 mm ve erkeklerde 37,7 ila 47,2 mm arasında değiştiği bildirilmektedir (Papageorgiou vd., 2023). Bu da yakalanan bireylerin eşeysel olgunluğa ulaşmış bireylerden oluştuğunu göstermektedir.

Bu bulgular ile daha önce aynı bölgeden bildirilen *Fistularia* türlerinin birbirini izleyen yıllarda, benzer dönemlerde ve aynı bölgede bulunmaları o tür ya da türlerin o bölgede yerleştiğinin bir kanıtıdır. Dolayısı ile bu türlerin İskenderun Körfezi'nde başarılı bir şekilde yerleştiğini doğrulanmaktadır.

KAYNAKÇA

Azzurro, E., Soto, S., Garofalo, G., & Maynou, F. *Fistularia commersonii* in the Mediterranean Sea: Invasion history and distribution modeling based on presence-only records. Biological Invasions, 15, 977–990. 2013.

Bañón, R., Sande, C. First record of the red cornetfish *Fistularia petimba* Syngnathiformes: (Fistularidae) in Galician waters: a northernmost occurrence in the eastern Atlantic. Journal of Applied Ichthyology 24: 106-107. 2008.

Bariche, M., Kajajian, A., Azzurro, E., Reproduction of the invasive bluespotted cornetfish *Fistularia commersonii* (Teleostei, Fistulariidae) in the Mediterranean Sea. Marine Biology Research, 9 (2), 169-180.2013.

Carpenter, K. E., Robertson, R., & Munroe, T. *Fistularia petimba*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2015. e.T16781113A16782243. https://doi.org/10.2305 /IUCN.UK.2015-4.RLTS.T16781113A16782243.en

Cerim, H., Yapıcı, S., Gülşahin, A., Soykan, O. & Bilge, G. (2021). The first record of the Red cornetfish (*Fistularia petimba* Lacepède, 1803) in the Aegean Sea. Düzce University Journal of Science & Technology, 9, 607-615.

Ciftci, N., Ayas, D., Doğangün, M. New locality record for Fistularia petimba Lacepède, 1803 from the Northeastern Mediterranean Sea (Mersin Bay), MedFAR., 2(2):42-48. 2018.

Corsini, M., Kondylatos, G., Economidis, P.S. Brief communication lessepsian migrant *Fistularia commersonii* from the Rhodes marine area. Journal of Fish Biology. 61: 1061-1062. 2002.

Erguden, D., Doğdu, S.A., Turan, C. The length-weight relationship and condition factor of the red cornetfish, Fistularia petimba Lacepède, 1803 in the Southeastern Mediterranean coast of Türkiye (İskenderun Bay). Turkish Journal of Bioscience and Collections, 7(2), 91–98. 2023.

Fritzsche, R. A. *Fistulariidae*. In:. Check-list of the fishes qf the eastern tropical Atlantic (Clofleta). J. C. Queró et al. (eds.) 2: 654-655. JNICT Portugal, European Ichthyological Union and Unesco. Mem Martins Codex, Portugal. Vals. l-3: 1 492 pp. 1990.

Froese, R., & Pauly, D. (Eds.) (2025). FishBase. World Wide Web electronic publication. Retrieved on December 5, 2025 from www.fishbase.org.

Golani, D., Azzurro, E., Corsini-Foka, M., Falautano, M., Andaloro, F., & Bernardi, G. Genetic bottlenecks and successful biological invasions: The case of a recent Lessepsian migrant. Biology Letters, 3, 541–545. 2007.

Karan, S., Uyan, A., Dogdu, S. A., Gürlek, M., Ergüden, D. & Turan, C. Genetic confirmation of Red cornetfish, *Fistularia petimba* (Syngnathiformes: Fistularidae) occurrence in Turkish marine waters. Fish Taxa, 4(3), 125-129. 2019.

Kondylatos G, Theocharis A, Charokopou M, Perakis E, Mavrouleas D, Kalaentzis K, Pafras D, Klaoudatos D. Life-History Traits of the Bluespotted Cornetfish *Fistularia commersonii* Rüppell, 1838

in Rhodes, Greece, with Notes on the Red Cornetfish *Fistularia petimba* Lacepède, 1803. Hydrobiology. 3(3):183-208. 2024.

Papageorgiou, M., Resaikos, V., & Petrou, A. A preliminary assessment of *Fistularia petimba* (Lacepède, 1803) migration in the Mediterranean Sea: historical and new data from Cyprus (Levantine Sea) with biological notes. Mediterranean Marine Science, 24(2), 446–453. 2023.

Por, F.D. *Lessepsian Migration: The Influx of Red Sea Biota into the Mediterranean by Way of the Suez Canal*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1978.

Stern N., Paz G., Yudkovsky Y., Lubinevsky H., Rinkevich B. The arrival of a second 'Lessepsian sprinter'? A first record of the red cornetfish *Fistularia petimba* in the Eastern Mediterranean. Mediterranean Marine Science 18 (3): 524-528. 2017.

Türker-Cakir, D. Çoktuğ, B. ve Zengin, K. First record of the bluespotted cornetfish, *Fistularia commersonii* Rüppell, 1835 (Osteichthyes: Fistulariidae) in Edremit Bay (north-eastern Aegean Sea). J. Appl. Ichthyol., 30, 164–167.2014.

Tsaousi, N. Kalogirou, S. First Record of the Red Cornetfish *Fistularia petimba* Lacepède, 1803 from Amorgos Island (Central Aegean Sea; Greece) and a Review of Its Current Distribution in the Mediterranean Sea. Fishes, 9, 237. 2024.

Ünlüoğlu, A, Akalın, S., Dal, İ., Tıraşın, E.M., Aydın, C.M. First record of red cornetfish *Fistularia petimba* (Syngnathiformes: Fistulariidae) from Antalya and İskenderun Bays along Turkish Coasts of the Mediterranean Sea. J Appl Ichthyol. 34:977–980, 2018.

ASLAN BALIĞININ (*PTEROIS MILES*) İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDEN YENİ KAYITLARI

Prof. Dr. Nuri BAŞUSTA
Fırat Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ
nbasusta@firat.edu.tr - 0000-0002-4260-4772

ÖZET

Aslan balığı olarak bilinen *Pterois miles* deniz canlıları arasındaki en istilacı türler arasında yer almaktadır. Dorsal, Anal ve pelvik yüzgeçlerinde zehirli diken ve zehir bezleri bulunduran *P. miles,* Akdeniz'de bugüne kadar bilinen en istilacı ve biyoçeşitliliği tehdit eden en önemli tür olarak kabul edilmektedir. Aslan balıkları 27 Eylül 2025 tarihinde yaklaşık 35-40 m derinlikte İskenderun açıklarında yapılan ticari uzatma ağlarıyla ıskarta olarak yakalanmıştır. Toplam 5 adet Aslan balığına ait bireyler yakalanmıştır. Balıklar incelenmek üzere buz içerisinde Fırat üniversitesi, Balıkçılık Biyolojisi laboratuvarına getirilmiş ve türlere ait morfometrik ölçümler ve meristik sayımlar kaydedilmiştir. Türün tanımı, morfolojik özellikler ve metrik ölçümler yardımıyla tamamlanmıştır. Örnekler derin dondurucu içinde muhafaza edilmiş ve Müze Katalog numarası verilmiştir. Elde edilen aslan balığı bireylerine ait minimum ve maksimum toplam boylar 19.9 – 24.8 cm arasında ve ağırlıklar ise 69.40-183.81 g arasında bulunmuştur. Balıkların bir tanesi siyah veya siyaha yakın renkte diğerleri ise kırmızı ya da turuncu renkte gözlenmiştir. Aslan balığı bu bölgeden balıkçılar tarafından sürekli olarak bildirilmesi bu türün İskenderun Körfezi'nde ürediğinin ve yerleştiğinin göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu nedenle türe ait yönetim planlarının oluşturulması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Aslan Balığı, *Pterois miles*, İskenderun Körfezi, İstilacı balık, Kuzeydoğu Akdeniz,

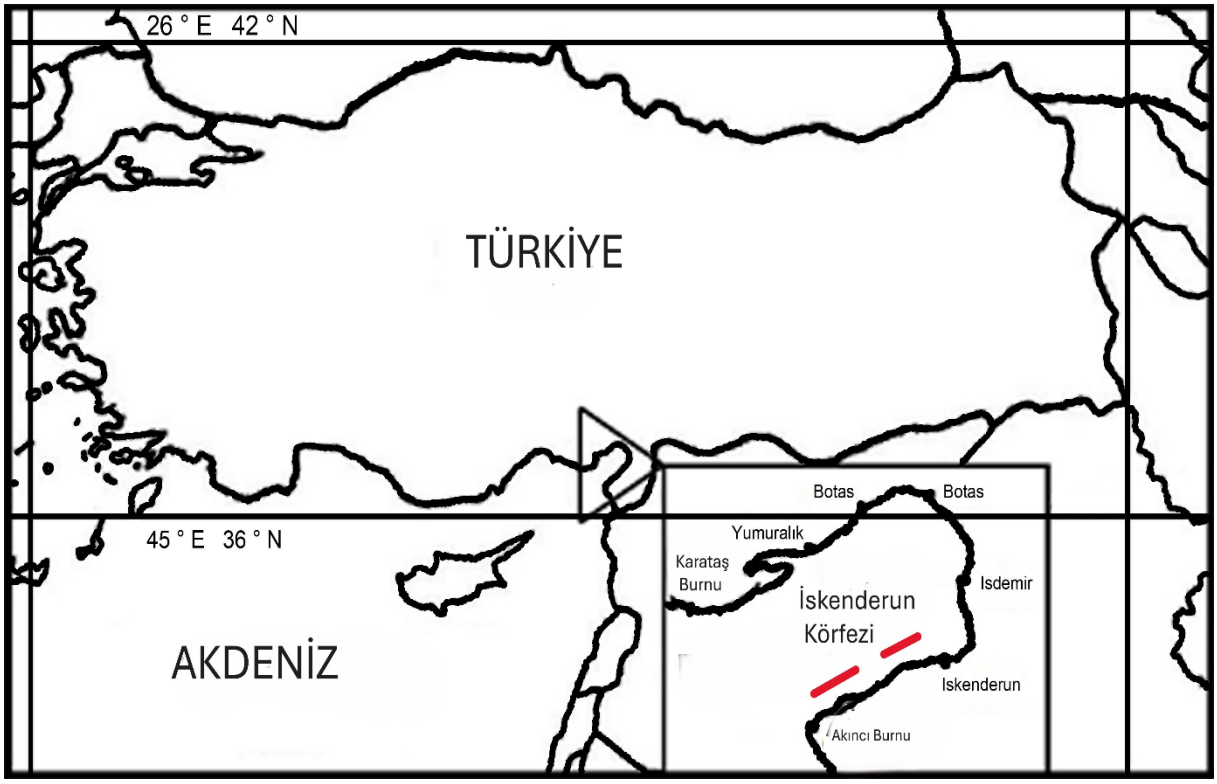
1. GİRİŞ

Aslan balığı olarak bilinen *Pterois miles* (Bennett, 1828) deniz canlıları arasındaki en istilacı türler arasında yer almaktadır (Öztekin vd., 2023). Dorsal, anal ve pelvik yüzgeçlerindeki ışınlarında bir çift zehir bulunduran *P. miles*, (Aktaş ve Mirasoğlu, 2017) Akdeniz'de biyoçeşitliliği tehdit eden en önemli tür olarak kabul edilmektedir (Özgül, 2020). Orijinal yaşam alanında 50 metre derinliğe kadar kayalıklar ve mercan resiflerinde yaşar. Balıklarla beslenir. Gün doğumu ve gün batımı sırasında tek başına veya küçük gruplar halinde avlanır. Kuzeydoğu Akdeniz'de tek türle temsil edilirler. Orijinal dağılım alanı batı Hint Okyanusu'nu kapsamaktadır. Muhtemelen Kızıldeniz'den Süveyş Kanalı yoluyla Akdeniz'e girmiştir (Golani vd., 2006). Zenetos vd. (2010) nin yaptıkları tür kontrol listesi, Akdeniz'de bulunan Hint-Pasifik kökenli 106 yabancı balık türü içermektedir. Aslan balıklarının Akdeniz ekosistemlerinin yapısı ve işlevi üzerinde uzun vadeli etkileri olacağı tahmin edilmektedir

(Turan, 2020; Turan vd., 2020). Bu nedenle türün biyolojik özelliklerinin ve mevcut durumunun bilinmesi; kontrolü ve yönetim stratejilerinin planlanması açısından önem taşımaktadır (Turan ve Doğdu, 2022). Aslan balığının dağılımı ve biyolojisi ile ilgili çalışmalar olmakla birlikte ülkemiz denizleri için yeterli olduğu henüz söylenemez (Turan ve Öztürk, 2015; Oray vd., 2015; Bilge vd., 2017; Ayas vd., 2018; Özgür Özbek vd., 2017; Dağhan ve Demirhan, 2020; Özgül, 2020; Taşkavak vd., 2021; Oruç vd., 2022; Tanrıverdi vd., 2022). Bununla birlikte bir türün birbirini izleyen yıllarda aynı bölgede ergin ve yavru bireylerin görülmesi o türün yaşadığı habitatın üreme bölgesi ya da yavru bakım bölgesi olduğunun bir kanıtıdır. Bu çalışmanın amacı, İskenderun Körfezi'nden Aslan balıklarının yeni kayıtlarını bildirmek ve bu türün İskenderun Körfezi'nde yerleştiğini ortaya koymaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma İskenderun Körfezi'nde (Göresel 1) 28 ve 30 Ekim 2025 tarihlerinde iki farklı bölgede (Payas - Konacık açıkları) ticari uzatma ağları 30-40m derinlikte avcılık yapan balıkçılardan temin edilmiştir (Görsel 2).



Görsel 1. İskenderun Körfezi'nde Aslan Balığı Avlanma Bölgesi

Bir balıkçıdan 4 adet ve diğer balıkçıdan 1 adet olmak üzere toplam 5 adet Aslan balığı, incelenmek üzere buz içerisinde Fırat üniversitesi, Balıkçılık Biyolojisi laboratuvarına getirilmiş ve türlere ait morfometrik ölçümler ve meristik sayımlar kaydedilmiştir.



Görsel 2. İskenderun Körfezi'nde Kullanılan Uzatma Ağları ve Aslan Balıkları

Aslan balıklarının boyları 0.1 cm cetvelde, ağırlıkları ise 0.01 g duyarlı hassas terazide alınmıştır (Görsel 3). Balık örnekleri derin dondurucu içinde muhafaza edilmiş ve *P. miles* bireylerine Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Müzesinde FSM 77, 78, 79, 80 ve 81 olarak Müze Katalog numarası verilmiştir.



Görsel 3. İskenderun Körfezi'nde yakalanan Aslan Balığı (*P. miles*)

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Toplam 5 adet Aslan balığına ait meristik karakterler; Dorsal yüzgeç ışınları: XII + I + 9-11; Anal yüzgeç ışınları: III + 6-7; Pektoral yüzgeç ışınları: 13-15; Ventral yüzgeç ışınları: I+5 olarak bulunmuştur. Toplam boyları ise sırasıyla 19.9 cm, 20.2 cm, 22.4 cm, 22.7 cm, 24.8 cm, toplam ağırlıklar ise 69.40 g, 81.17 g, 101.76 g, 163.27 g ve 183.81 g olarak bulunmuştur.

Aslan balıklarının renk ve desenleri incelenmiş, bunlardan bir tanesinin renginin diğer balıklardan farklı olduğu görülmüştür. Rengi siyah ve kırmızı olan balıklar farklı avlama bölgesinden yakalanmışlardır (Görsel 4).



Görsel 4. İskenderun Körfezi'nde 5 Aslan Balığı Bireyi

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

İstilacı türlerden biri olan *P. miles*, yerel deniz ekosistemleri ve yerli türler üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle ciddi endişelere yol açmaktadır (Charles ve Dukes 2008). Aslan balığının İskenderun Körfezinden ilk kaydı Nisan 2014'de Turan vd. (2014); 2018-2019 yıllarında Dağhan ve Demirhan (2020) tarafından biyoekolojisi çalışılmıştır. Bu çalışma ile İskenderun Körfezi'nde iki farklı bölgede *P. miles* türünün görünürlüğü artmış, bu da türün bölgeye yerleştiğinin göstergesi olarak kabul edilebilir. Renkleri genellikle yaşam alanlarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, kıyısal alanda bulunan bireylerin genellikle daha kırmızı renkli olduğu, haliçlerde ise bazen neredeyse siyah renkte görüldüğü bildirilmiştir (Kuiter ve Tonozuka, 2001). Bulgularımız bu bilgileri doğrulamaktadır. Aslan balığının İskenderun Körfezinden balıkçılar tarafından sürekli olarak bildirilmesi, bu türün bu bölgede ürediğinin ve yerleştiğinin göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu nedenle türe ait yönetim planlarının oluşturulması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Aktaş, Ş., ve Mirasoğlu, B. Lionfish envenomation: clinical aspect and management. J. Black Sea/Mediterranean Environment.. 23, 1: 81-87. 2017.

Alkan Ö., Ayaz A., Altınağaç U., Özekinci U., Çakır F., Daban İ.B., Şen Y., Uğur G.E., Ayaz O.Aslan balığının Edremit Körfezi'nden ilave kaydı. Doğa ve Sürdürülebilirlik Derneği, Doğanın Sesi, 6 (12): 19-28, 2023.

Ayas, D., Sen Agılkaya, G., Kosker, A. R., Durmuş, M., Ucar, Y., & Bakan, M. The chemical composition of the Lionfish (*Pterois miles*, Bennett 1828), the new invasive species of the Mediterranean Sea. Natural and Engineering Sciences, 3(2), 103-115.2018.

Bilge, G., Filiz, H., & Yapıcı, S. Occurrences of *Pterois miles* (Bennett, 1828) between 1992 and 2016 from Turkey and the Mediterranean Sea. Journal Black Sea/Mediterranean Environment, 23(3), 201-208.2017.

Charles, H. & Dukes, J.S. *Impacts of invasive species on ecosystem services*. In Biological Invasions (Ecological Studies, Vol. 193) W. Nentwig (Ed.). pp. 217-237,Springer-Verlag. 2007.

Dağhan, H. & Demirhan, S. A. Some bio-ecological characteristics of lionfish *Pterois miles* (Bennett, 1828) in Iskenderun Bay. Marine and Life Sciences, 2(1): 28-40.2020.

Golani, D., Öztürk, B., & Başusta, N. *Fishes of the Eastern Mediterranean*. Turkish Marine Research Foundation Publication, 24, 1-259. 2006.

Kuiter, R.H., Tonozuka, T. *Pictorial guide to Indonesian reef fishes*. Part 1. Eels- Snappers, Muraenidae - Lutjanidae. Zoonetics, Australia, 302 pp. 2001.

Oray, I. K., Sınay, E., Karakulak, S. F., & Yıldız., T. An expected marine alien fish caught at the coast of Northern Cyprus: *Pterois miles* (Bennett, 1828). Journal of Applied Ichthyology, 31(4), 733-735. 2015.

Oruç, A. Ç., Şensurat Genç, T., Özgül, A. & Lök, A. The northernmost dispersal record of the lionfish, *Pterois miles* (Bennett, 1828) for the Aegean Sea. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39(1), 84-87. 2022.

Özgül, A. Occurrence of lionfish, Pterois miles (Bennett, 1828) in the coast of Aegean Sea (Turkey): The northernmost dispersal record. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37(3), 313-317.2020.

Özgür Özbek, E., Mavruk, S., Saygu, İ., & Öztürk, B. Lionfish distribution in the eastern Mediterranean coast of Turkey. Black Sea/Medit. Environ., 23(1), 1-16, 2017.

Tanrıverdi, R., Gökoğlu, M., Korun, J. First Observations on the Stomach Contents of Devil Firefish, *Pterois miles* (Bennett, 1828) in the Gulf of Antalya, Turkey. Acta Natura et Scientia, 3(1), 24-31. 2022.

Taşkavak, E., Gürkan, Ş., & Taylan, B. Some observations on the depth range and size of devil firefish *Pterois miles* (Bennett, 1828) (Scorpaenidae) in Silifke Mersin (Turkey). ActaNatura et Scientia, 2(1), 53-57.2021.

Turan, C. Species distribution modelling of invasive alien species; *Pterois miles* for current distribution and future suitable habitats. Global Journal of Environmental Science and Management, 6 (4), pp. 429-440. 2020.

Turan, C., Ergüden, D., Gürlek, M., Yağlıoğlu, D., Uyan, A. & Uygur, N. First record of the Indo-Pacific lionfish *Pterois miles* (Bennett, 1828) (Osteichthyes: Scorpaenidae) for the Turkish marine waters. Black Sea/Medit. Environ., 20, 158-163. 2014.

Turan, C., & Öztürk, B. First record of the lionfish *Pterois miles* from the Aegean Sea. Journal of Black Sea/Mediterranean Environment, 21(3), 334-338. 2015.

Turan, C., Uyan, A., Gürlek, M., Doğdu, S. A. DNA Barcodes for Identifications of Two Lionfish Species *Pterois miles* (Bennett, 1828) and *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) in the Mediterranean. FishTaxa, 16, 29-36. 2020.

Turan, C., Doğdu, S. A. Preliminary assessment of invasive lionfish *Pterois miles* using underwater visual census method in the Northeastern Mediterranean. Croat. J. Fish., 80, 38-46. 2022.

Zenetos, A., Gofas, S., Verlaque, M., Çinar, M. E., Raso, J. G., Bianchi, C. N., Siokou, I. (2010): Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of the European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD): Part I. Spatial distribution. Mediterranean Marine Science, 11(2), 381.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ ÇAYIRLARI EKOSİSTEMLERİNE ETKİLERİ

Arş. Gör. Kaan Kırşan[1], Prof. Dr. Sevim Polat[2]

[1]Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Adana, Türkiye,
e-mail: kaan.kirsan@gmail.com https://orcid.org/0009-0001-7640-7515

[2]Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Adana, Türkiye,
e-mail: sevcan@cu.edu.tr https://orcid.org/0000-0002-4756-1177

Özet

Deniz çayırları, yüksek birincil üretimleri, karbon tutma kapasiteleri ve birçok deniz canlısına sağladıkları barınma, beslenme ve üreme alanlarıyla kıyısal ekosistemlerin en önemli bileşenlerinden biridir. Ancak bu hassas habitatlar, son yıllarda artan antropojenik baskılar ve küresel iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle ciddi zararlar görmektedir. Sıcaklık artışı, deniz seviyesinin yükselmesi, tuzluluk değişimleri ve okyanus asitlenmesi deniz çayırlarının büyüme ve dağılımlarını olumsuz etkileyen iklim değişikliği ile ilgili faktörlerdir. Bu olaylar hem deniz çayırı biyo çeşitliliğinde azalma, hem de karbon depolama kapasitesinin azalması gibi farklı olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu çalışmada, iklim değişikliğinin deniz çayırları üzerindeki etkileri incelenerek bu ekosistemlerin korunması için izleme ve sürdürülebilir yönetim yaklaşımları tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Deniz çayırı, denizel ekosistem, iklim değişimi, okyanus ısınması

THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON SEAGRASS ECOSYSTEMS

Abstract

Seagrass habitats are one of the most important components of coastal ecosystems due to their high primary production, carbon sequestration capacity, and the shelter, feeding, and breeding areas they provide for many marine species. However, these sensitive habitats have suffered serious damage in recent years due to increasing anthropogenic pressures and the effects of global climate change. Temperature increase, sea level rise, salinity changes, and ocean acidification are climate change-related factors that negatively affect the growth and distribution of seagrass beds. These events lead to various negative effects, including a decline in seagrass biodiversity and a reduction in carbon storage capacity. This study examines the effects of climate change on seagrass beds and discusses monitoring and sustainable management approaches for the conservation of these ecosystems.

Keywords: Seagrass, marine ecosystem, climate change, ocean warming

1. Giriş

Deniz çayırları, su altında ışıklı bölgede yaşayan tek tohumlu bitki grubudur. Dünyada yaklaşık 60 deniz çayırı türü bulunmaktadır [1]. Deniz çayırları habitatları, önemli işlevleri olan kıyısal ekosistem elemanlarıdır [2,3]. Deniz çayırları birincil üreticiler olmaları nedeniyle özellikle sığ kıyısal sularda denizel canlıların beslenmesinde dolayısıyla denizel üretim sürecinde önemli rol oynamaktadır [4]. Deniz çayırı habitatlarının birçok sucul canlının yaşama, üreme, barınma ve büyüme ortamı olmalarının yanında, kıyısal erozyonu önleme özellikleri de bulunmaktadır [5,6].

Ekosistemdeki kritik işlevlerine rağmen, deniz çayırları hem doğal hem de insan kaynaklı birçok tehdit altındadır. Kıyı dolguları, liman inşaatları, trol avcılığı ve yoğun deniz trafiği gibi faaliyetler bu hassas habitatlarda ciddi tahribata yol açmaktadır [6,7]. İnsan faaliyetleri ile artan tarım ve sanayi atıklarının deniz ortamına taşınması, su kalitesini bozmakta ve ışık geçirgenliğinin azalması ışığa bağımlı olan deniz çayırlarını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca tuzluluk değişimleri, sediment süspansiyonu ve artan dalga hareketleri, deniz çayırlarının köklenme ve büyümesini zorlaştırmaktadır. Bunun yanında, istilacı türlerin artışı, aşırı otlanma ve hastalıklar da deniz çayırlarını olumsuz etkilemektedir. Son yıllarda küresel iklim değişikliği, deniz çayırlarını etkileyen en önemli faktörlerden biri haline gelmiştir [3]. Yapılan araştırmalar, iklimsel değişimlerin habitat kayıplarını hızlandırdığını ve deniz çayırları üzerinde ciddi baskılar oluşturduğunu ortaya koymuştur. Küresel olarak incelen deniz çayırı alanında 1880'den beri %19.1 oranında bir kayıp olduğu bildirilmiştir [8]. Bu çalışmada iklim değişikliğinin deniz çayırları toplulukları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. Deniz çayırlarının Biyolojisi, Morfolojisi ve Dağılımı

Deniz çayırları, yaklaşık 100 milyon yıl önce deniz ortamına uyum sağlayarak kolonileşen karasal bitkilerin günümüzde yaşayan temsilcileridir ve denizlerin akciğerleri olarak adlandırılmaktadır [6,9]. Gelişmiş kök ve rizom sistemleri sayesinde denizel koşullara adapte olmuşlardır. Çoğalmaları vejetatif yolla gerçekleşirken, uygun şartlarda eşeyli olarak tohumla ürerler [6]. Günümüzde deniz çayırları, Alismatales takımına ait beş aile altında yer almaktadır (Çizelge 1). Deniz çayırları küresel dağılım olarak Antarktika dışında tüm kıtalarda bulunmaktadır [10]. Türlerin dağılımları bulundukları bölgenin iklimsel ve coğrafi koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin, Akdeniz'de endemik bir tür olan *Posidonia oceanica* yaygın olarak bulunurken, Avustralya kıyılarında endemik *Posidonia australis* türü baskındır. Deniz çayırlarının dağılım derinlikleri bir metreden başlayıp bazı türlerde 58 metreye kadar ulaşabilmektedir [11]. Dünyada kapladıkları alanın yaklaşık 177.000 ila 600.000 km² arasında olduğunu tahmin edilmektedir [12].

Çizelge 1. Deniz çayırlarının taksonomik sınıflandırılması.

Alem	Plantae
Şube	Tracheophyta
Sınıf	Monocots
Takım	Alismatales
Aile	Hydrocharitaceae Posidoniaceae Zosteraceae Cymodoceae Ruppiaceae
Cins	*Enhalus* *Halophila* *Thalassia* *Heterozostera* *Nanozostera* *Phyllospadix* *Zostera* *Posidonia* *Ruppia* *Cymodocea* *Amphibolis* *Halodule* *Oceana* *Syringodium* *Thalassodendron*

3. Deniz Çayırlarının Ekosisteme Katkıları

Deniz çayırları bulundukları ortamlarda önemli ekolojik hizmetler sunmaktadır [13,14]. Bir dönümlük alanda yılda 10 tondan fazla yaprak üretme kapasitelerinden dolayı balıklar ve kabuklu deniz canlıları gibi birçok canlıya barınak, besin ve üreme alanı oluşturmaktadırlar[15]. Deniz çayırı yatakları içerdikleri zengin biyoçeşitlilik nedeniyle kıyısal ekosistemlerin sağlığında önemli rol oynamaktadır [6,15]. Tüm bunların yanında dalgaların etkisi azaltma, su sütununda asılı kalan ince tortuları ve parçacıkları hapsederek suyun berraklığını artırma rolleri de bulunmaktadır [16,17].

3.1. Karbon tutma kapasiteleri

Deniz çayırları, karbon tutmada ve depolamada önemli rol oynayan yaşam alanlarıdır [18]. Deniz çayırları, dünya okyanuslarının %2'sinden daha azını kaplamasına rağmen, okyanus karbon depolamasının %10'una ve tüm küresel karbon depolamasının yaklaşık %15'ine katkıda bulunmaktadır [19,20]. Howard vd. [21] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karbon depolaması değerlendirilirken hem organik hem de inorganik karbon stoklarının dikkate alınması gerektiğini, çünkü her ikisinin de deniz çayırı ekosistemi üzerinde genel bir etki oluşturabileceğini belirtilmiştir. Lovelock vd. [22] tarafından yapılan çalışma ise, sulak alanların üst sediment tabakasındaki karbon stoklarının %70–80'inin, son 40 yılda meydana gelen bozulma olayları sonucu karbondioksit emisyonları şeklinde kaybedildiğini ortaya koymuştur. Deniz çayırları, mangrovlar ve bataklıkların tahribatı ve bozulması sonucu salınan karbondioksitin ekonomik maliyetinin ise yıllık 6 ila 42 milyar dolar arasında olduğu tahmin edilmektedir [23].

3.2. Diğer canlılar tarafından besin maddesi olarak kullanımları

Birçok denizel hayvan canlı deniz çayırı yapraklarını doğrudan besin kaynağı olarak kullanmaktadır [15]. Deniz çayırı yataklarında yaşayan türlerin çoğu etobur eğiliminde olup, bu canlılar çayırları sık ziyaret eden diğer organizmalarla beslenirler [24]. Ölü deniz çayırlarının bakteriyel ayrışması, solucanlar, denizhıyarları, yengeçler ve anemonlar gibi organizmalar için önemli bir detritus kaynağı oluşturur. Ayrıca, deniz çayırlarından kaynaklanan kalıntılar kıyıya ve daha derin alanlara taşınarak, bu yataklardan uzak bölgelerde yaşayan organizmalar için de besin sağlamaktadır [25].

3.3. Denizel canlılar için habitat ve yavru balıklar için büyüme alanı

Deniz çayırları mezgit, zargana, kefal ve ringa gibi balıkların erken dönemlerinde hem barınma, hem de beslenme alanı işlevi gören önemli gelişim habitatlarıdır [2]. Balıkların yanı sıra, göçmen su kuşları ve birçok deniz organizması için de deniz çayırları önemli yaşam alanları oluşturur. Deniz çayırlarının kök ve rizomlarının çevresinde biriken sediment ekinoderm, kabuklu ve nematodlar gibi çeşitli omurgasızlar tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır. Bir dönüm deniz çayırı yatağı, tek başına 40.000'e kadar balık ve 50 milyon omurgasıza ev sahipliği yapabilmektedir [26].

4. İklim değişikliğinin deniz çayırları üzerindeki etkileri

İklim değişikliği, deniz ekosistemlerini etkileyen en önemli çevresel sorunlardan biri olup, bu etkiler deniz çayırları gibi hassas habitatlarda belirgin şekilde hissedilmektedir. Artan deniz suyu sıcaklıkları, deniz çayırlarının tolerans sınırlarını zorlayarak büyüme hızlarını, fotosentetik aktivitelerini ve dağılımlarını etkileyebilmektedir. Deniz seviyesindeki yükselme, ışık geçirgenliğini azaltarak deniz çayırlarının yaşam alanlarını daraltmaktadır. Atmosferdeki karbondioksit (CO_2) miktarının artması, kısa vadede fotosentezi teşvik etse de uzun vadede deniz suyunun asitlenmesine yol açarak bu bitkilerin fizyolojik dengesini bozabilmektedir. Ayrıca, ısınma, aşırı tuzluluk ve ötrofikasyon gibi stres faktörlerinin patojen gelişimini teşvik ederken, deniz çayırlarının patojenlere karşı direncini azaltabileceği belirtilmektedir [3]. Beca-Carretero vd. [27] iklim değişikliğinin Akdeniz deniz çayırlarına etkileri konusunda yaptıkları

model çalışmasında yavaş büyüyen *P. oceanica'nın* iklim değişikliğine savunmasız olacağını ve bolluğunda büyük düşüşler yaşayacağını belirlemiştir. Ancak, sonuçlar Akdeniz'in batı ve daha soğuk alanlarının bu tür için sığınak alanları oluşturabileceğini göstermiştir. Simülasyonlar, *P. oceanica'*nın ortadan kalktığı alanların kısmen *C. nodosa* ve *H. stipulacea* tarafından kaplanacağını da göstermiştir. Sonuçlara göre, iklim değişikliği arttıkça Akdeniz deniz çayırı topluluğunda uzun ömürlü ve büyük türlerden küçük ve hızlı büyüyen türlere doğru bir geçiş olacaktır. Tüm bu faktörler iklim değişikliğinin deniz çayırlarının küresel ölçekte dağılımını, çeşitliliğini ve ekosistem hizmetlerini tehdit eden ciddi bir risk oluşturacağını göstermektedir [28].

4.1 Sıcaklık artışı

Küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının, bu yüzyılın sonuna kadar 1.5°C ile 4.4°C arasında artacağı öngörülmektedir [29]. Su sıcaklığındaki artışın deniz çayırlarının metabolizma ve pozitif karbon dengesini sürdürme yeteneğini doğrudan etkileyeceği düşünülmektedir [30]. Bu durumun türlerin mevsimsel ve coğrafik dağılımında değişikliklere yol açabileceği bildirilmektedir [31]. Sıcaklık artışının etkileri, her bir türün ısıl toleransına ve fotosentez için optimum sıcaklık değerlerine bağlıdır. Deniz çayırlarında, yüksek sıcaklıklara maruz kalmak fotosenteze kıyasla solunum hızını artırarak ve fotosentez/solunum oranının düşmesine neden olmaktadır [14]. Yüksek deniz suyu sıcaklıkları deniz çayırlarında büyüme ve biyokütlede azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca, sıcaklık artışına duyarlılığın yaşla birlikte azaldığı, *P. oceanica*'nın genç evrelerinin artan sıcaklıklara karşı daha hassas olduğunu belirlenmiştir [14]. Bununla birlikte, *Cymodocea nodosa*'nın ısınmaya karşı daha fazla tolerans gösterdiği, ısınmanın bu türün rizom büyümesi, biyokütle ve popülasyon artışına olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir [3].

4.2. Deniz seviyesinin yükselmesi

Küresel deniz seviyelerinin son 30 yılda 10 cm'den fazla, kayıtların tutulmaya başlandığı 1880 yılından bu yana ise yaklaşık 21 cm arttığı bildirilmiştir [32]. 1995-2014 seviyeleriyle karşılaştırıldığında, IPCC' nin düşük emisyonlu senaryosuna göre küresel ortalama deniz seviyesinin 2050 yılına kadar 0.15-0.23 m, 2100 yılına kadar ise 0.28-0.55 m artması beklenmektedir. Yüksek emisyonlu senaryoya göre ise artışın 2050 yılına kadar 0.20-0.29 m ve 2100 yılına kadar 0.63-1.01 m olması beklenmektedir [32]. Okyanusların ısınması, okyanus suyunun termal genleşmesine ve kutuplardaki buzulların erimesinin hızlanmasına yol açmaktadır [33]. Okyanus havzaları içinde en büyük artış Batı Pasifik'te, en yavaş artış Doğu Pasifik'te gözlemlenmiştir [32]. Deniz seviyesindeki artış ve su kalitesindeki düşüş deniz çayırlarına ulaşan ışığın azalmasına neden olarak fotosentezi olumsuz etkilemektedir [34].

4.3 Karbondioksit artışı

Atmosferik karbondioksit (CO_2) seviyelerinin artışı, yeryüzündeki bitkiler üzerinde önemli etkilere sahiptir [35]. Kısa süreli CO_2 zenginleşmesine bitkilerin tipik tepkileri arasında fotosentez, büyüme ve toplam biyokütlede artışlar yer almaktadır. Yapılan çalışmalar, uzun süreli yüksek CO_2 maruziyetinin fotosentezi farklı şekillerde etkilediğini ortaya koymuştur [36]. Karbondioksit seviyesindeki artış, deniz suyunda daha fazla karbondioksitin çözünmesine ve pH'ın düşmesine neden olmaktadır. Deniz suyundaki karbondioksit artışının deniz

çayırlarının fotosentez hızını artıracağı, ancak okyanus ısınması ve asitleşmesinin bu faydalı etkiyi ortadan kaldıracağı öngörülmektedir [3]. Takahashi vd. [37] düşükten yüksek pCO_2 bölgelerine doğru tropikal deniz çayırı örtüsünde üç kat, biyokütlede ise beş kat artış saptamışlar, ancak artan CO_2 değerlerinin boyuta özgü büyümenin azalmasına ve tür kompozisyonunda değişime neden olabileceğini bildirmişlerdir.

4.4 Tuzluluk seviyesindeki değişikliklerin etkisi

Tuzluluğun artması veya azalması, deniz çayırlarını doğrudan etkileyen önemli bir çevresel faktördür [38]. Tuzluluk, deniz çayırı azalmasında kritik faktörlerden biridir [39]. Yüksek tuzluluk, tuza dayanıklı alglerin artışını teşvik ederek deniz çayırı ekosistemlerini olumsuz etkilemektedir [40]. Deniz çayırlarının yüksek tuzluluktaki habitatlara uyum sağlamasının bu bitkilerdeki birçok fizyolojik süreci değiştirdiği bildirilmektedir [41]. Optimum sıcaklık ve tuzluluğun altındaki değerler, özellikle de optimum değerlerin üstündeki su sıcaklıkları, bitkinin performansını kısıtlayarak hayatta kalma ve populasyon gelişimi şansını sınırlayabilmektedir [42]. Tuzluluk stresi, deniz çayırı hücrelerinin ozmotik basıncını etkileyerek fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini bozabilmektedir [39]. Dünyada yapılan birçok çalışma, tuzluluk değişimine bağlı olarak deniz çayırlarının dağılımı ve bolluğundaki değişiklikleri açıklamıştır [38,39]. Bununla birlikte, karasal bitkilere kıyasla, deniz çayırlarının tuz toleransı hakkında daha az bilgi bulunmaktadır.

5. Sonuç

Denizel ekosistemler için büyük öneme sahip olan deniz çayırı habitatları son yıllarda antropojenik baskılar ve küresel iklim değişikliğinden ciddi düzeyde etkilenmektedir. Artan deniz suyu sıcaklıkları, birçok türün büyümelerini azaltmakta ve habitat kayıplarını hızlandırmaktadır. Deniz seviyesindeki yükselme ve tuzluluk değişimleri ise dağılım, köklenme vb. faktörler üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ayrıca atmosferdeki CO_2 miktarının artışı kısa vadede fotosentezi artırsa da uzun vadede okyanusların asitlenmesine yol açarak deniz çayırlarının fizyolojik dengesini bozabilmektedir.

Deniz çayırlarının yok olması yalnızca habitat çeşitliliğini değil, karbon depolama kapasitesini de olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, deniz çayırlarının korunması hem iklim değişikliğine karşı doğal bir karbon yutağı işlevi görmesi, hem de kıyısal ekosistemlerin dirençliliğini artırması açısından kritik öneme sahiptir. Kıyısal ekosistemlerde deniz suyu kalitesinin izlenmesi, antropojenik baskıların azaltılması deniz çayırları da dahil olmak üzere biyo çeşitliliğin sürdürülebilirliği için gereklidir. Bu kapsamda, deniz çayırlarının korunması için bütüncül yaklaşımların benimsenmesi gerekmektedir. Kıyılarımızda deniz çayırlarını dağılım haritalarının oluşturulması öncelikli adımlardan biri olmalıdır. Ayrıca, iklim değişikliğine bağlı stres faktörlerini değerlendiren araştırmalara ve bilimsel temellere dayanan restorasyon projelerine ihtiyaç vardır. Bu konuda farkındalığının artırılması ve tüm paydaşların koruma süreçlerine aktif katılımı da sürdürülebilir yönetim açısından büyük önem arz etmektedir.

Kaynaklar

1. Borum, J., Greve, T.M. (2004). The four European seagrass species. In: European seagrasses: An introduction to monitoring and management (Eds.: J. Borum, C.M Duarte, D. Krause-Jensen, T.M. Greve), The M&MS Project, ISBN: 87-89143-21-3 pp.1-7.
2. Bertelli, C. M., & Unsworth, R. K. (2014). Protecting the hand that feeds us: Seagrass (Zostera marina) serves as commercial juvenile fish habitat. Marine pollution bulletin, 83(2), 425-429.
3. Tang, K. H. D., & Hadibarata, T. (2022). Seagrass meadows under the changing climate: A review of the impacts of climate stressors. Research in Ecology, 4(1), 27-36.
4. Hasim, H. (2021). Mangrove ecosystem, seagrass, coral reef: Its role in self-purification and carrying capacity in coastal areas. International Journal Papier Advance and Scientific Review, 2(1), 37-49.
5. Ondiviela, B., Losada, I.J., Lara, J.L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T.J., Jim van Belzen, (2014). The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. Coastal Engineering, 87: 158-168.
6. Taşkın E., Güreşen A., Bilgiç F.(2024). Deniz çayırı *Posidonia oceanica* (Linneaus) Delile güncel durumu ve değerlendirmesi. Doğa ve Sürdürülebilirlik Derneği, Doğanın Sesi, 7(13):16-25.
7. Berkademi, W., Mizuno, K., & Soesilo, T. E. B. (2023). Threats of Industrial Estates and Anthropogenic Activities on Seagrass Ecosystems in Lima Island, Serang, Banten. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 13(4), 1363-1371.
8. Dunic, J. C., Brown, C. J., Connolly, R. M., Turschwell, M. P., Côté, I. M. (2021). Long-term declines and recovery of meadow area across the world's seagrass bioregions. Global Change Biol., 27(17), 4096–4109.
9. Olsen, J.L., Rouze, P., Verhelst, B., Lin, Y.C.; Bayer, T., Collen, J., Dattolo, E., De Paoli, E., Dittami, S., Maumus, F. et al. (2016). The Genome of the Seagrass Zostera marina Reveals Angiosperm Adaptation to the Sea. Nature, 530, 331–335.
10. Unsworth, R. K.F., Cullen-Unsworth, L. C. (2017). Seagrass meadows. Current Biology 27, R431–R510. Elsevier Ltd.
11. Spalding, M., Taylor, M., Ravilious, C., Short, F., & Green, E. (2003). The distribution and status of seagrasses. (ss. 5–26). University of Califiornia Press.
12. Mazarrasa, I., Marbà, N., Lovelock, C.E., Serrano, O. Lavery, P.S., Fourqurean, J.W., Kennedy, H., Mateo, M.A., KrauseJensen, D., Steven, A.D.L and Duarte, C.M. (2015). Seagrass meadows as a globally significant carbonate reservoir. Biogeosciences, 12 (16). doi:10.5194/bg-12-4993-2015
13. Guannel, G., Arkema, K., Ruggiero, P., Verutes, G. (2016). The power of three: coral reefs, seagrasses and mangroves protect coastal regions and increase their resilience. PloS one, 11 (7), e0158094.
14. Rinaldi A, Martinez M, Badalamenti F, D'Anna G, Mirto S, Mar´ın-Guirao L, Procaccini G and Montalto V. (2023). The ontogeny-specific thermal sensitivity of the seagrass Posidonia oceanica. Front. Mar. Sci. 10:1183728.
15. Ugarelli, K., Chakrabarti, S., Laas, P., Stingl, U. (2017). The Seagrass Holobiont and Its Microbiome. *Microorganisms*, *5*(4), 81. https://doi.org/10.3390/microorganisms5040081
16. Van der Heide, T., Eklöf, J. S., van Nes, E. H., van der Zee, E. M., Donadi, S., Weerman, E. J., ... & Eriksson, B. K. (2012). Ecosystem engineering by seagrasses interacts with grazing to shape an intertidal landscape.

17. Contti Neto, N., Pomeroy, A., Lowe, R., Ghisalberti, M. (2022). Seagrass meadows reduce wind-wave driven sediment resuspension in a sheltered environment. Frontiers in Marine Science, 8, 733542.

18. Dakos, V., Le Vilain, A., Thebault, E. et al. (2025). Carbon storage of seagrass ecosystems may experience tipping points in response to anthropogenic stress-a modeling perspective. Front. Complex Syst.. 3. doi: 10.3389/fcpxs.2025.1534330

19. Chi, X., Zhao, Z., Han, Q., Yan, H., Ji, B., Chai, Y., ... & Liu, K. (2023). Insights into autotrophic carbon fixation strategies through metagonomics in the sediments of seagrass beds. Marine Environmental Research, 188, 106002.

20. Song, L., He, B., Ahmad, S., Li, Q., Chen, A., Mao, W. (2025). Seagrass Ecosystems in Peril: Climate Change Threatens Blue Carbon Storage and Ecosystem Services. iScience.

21. Howard, J., McLeod, E., Thomas, S., Eastwood, E., Fox, M., Wenzel, L., Pidgeon, E. (2017). The potential to integrate blue carbon into MPA design and management. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 27, 100-115.

22. Lovelock, C. E., Atwood, T., Baldock, J., Duarte, C. M., Hickey, S., Lavery, P. S., ... & Steven, A. (2017). Assessing the risk of carbon dioxide emissions from blue carbon ecosystems. Frontiers in Ecology and the Environment, 15(5), 257-265.

23. Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., ... & Baldera, A. (2012). Estimating global "blue carbon" emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. PLoS ONE 7(9): e43542.

24. Jankowska, E., De Troch, M., Michel, L. N., Lepoint, G., Włodarska-Kowalczuk, M. (2018). Modification of benthic food web structure by recovering seagrass meadows, as revealed by trophic markers and mixing models. Ecological Indicators, 90, 28-37.

25. Reynolds, P.L. (2013). Seagrass and Seagrass Beds. Available online: http://ocean.si.edu/seagrass-and-seagrassbeds (Erişim tarihi: 30 October 2025).

26. Miththapala, S. (2008). Seagrasses and Sand Dunes. Coastal Ecosystems Series (Vol 3) pp 1-36 + iii. Colombo, Sri Lanka: Ecosystems and Livelihoods Group Asia, IUCN.

27. Beca-Carretero, P., Winters, G., Teichberg, M., Procaccini, G., Schneekloth, F., Zambrano, R., Chiquillo, K., Reuter, H. (2024). Climate change and the presence of invasive species will threaten the persistence of the Mediterranean seagrass community. Science of The Total Environment, 168675.

28. James, R. K., Keyzer, L. M., Van de Velde, S. J., Herman, P. M., Van Katwijk, M. M., & Bouma, T. J. (2023). Climate change mitigation by coral reefs and seagrass beds at risk: How global change compromises coastal ecosystem services. Science of the Total Environment, 857, 159576.

29. IPCC-Climate Change (2021). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

30. Egea, L. G., Jiménez–Ramos, R., Hernández, I., Brun, F. G. (2019). Effect of in situ short–term temperature increase on carbon metabolism and dissolved organic carbon (DOC) fluxes in a community dominated by the seagrass Cymodocea nodosa. PLoS One, 14(1), e0210386.

31. Nguyen, H. M., Kim, M., Ralph, P. J., Marín-Guirao, L., Pernice, M., Procaccini, G. (2020). Stress memory in seagrasses: first insight into the effects of thermal priming and the role of epigenetic modifications. Frontiers in Plant Science, 11, 494.

32. UNFCCC. (2025). Technical guide on sea level rise. Executive Committee of the Warsaw International Mechanism for Loss and Damage, UNFCCC. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/

33. Venegas, R. M., Acevedo, J.,Treml, E. A. (2023). Three decades of ocean warming impacts on marine ecosystems: A review and perspective. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 212, 105318.

34. Ralph, P. J., Durako, M. J., Enriquez, S., Collier, C. J., & Doblin, M. A. (2007). Impact of light limitation on seagrasses. Journal of experimental marine biology and ecology, 350(1-2), 176-193.

35. Ma, J., Wang, P. (2021). Effects of rising atmospheric CO2 levels on physiological response of cyanobacteria and cyanobacterial bloom development: a review. *Science of the Total Environment*, *754*, 141889.

36. Zheng, Y., Li, F., Hao, L., Yu, J., Guo, L., Zhou, H., ... & Xu, M. (2019). Elevated CO_2 concentration induces photosynthetic down-regulation with changes in leaf structure, non-structural carbohydrates and nitrogen content of soybean. BMC plant biology, 19(1), 255.

37. Takahashi, M., Noonan, S. H. C., Fabricius, K. E., Collier, C. J. (2016). The effects of long-term *in situ* CO_2 enrichment on tropical seagrass communities at volcanic vents, *ICES Journal of Marine Science*, 73, 3: 876–886.

38. Röthig, T., Trevathan-Tackett, S. M., Voolstra, C. R., Ross, C., Chaffron, S., Durack, P. J., Sweet, M. (2023). Human-induced salinity changes impact marine organisms and ecosystems. Global change biology, 29(17), 4731-4749.

39. Shen J, Wu Z, Yin L, Chen S, Cai Z, Geng X., Wang D. (2022). Physiological basis and differentially expressed genes in the salt tolerance mechanism of Thalassia hemprichii. Front. Plant Sci. 13:975251.

40. Huang X., Huang L., Li Y., Xu Z., Fong C. W., Huang D., et al. (2006). Main seagrass beds and threats to their habitats in the coastal sea of south China. Chin. Sci. Bull. 51, 114–119.

41. Touchette, B. W. (2007). Seagrass-salinity interactions: physiological mechanisms used by submersed marine angiosperms for a life at sea. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 350(1-2), 194-215.

42. Nejrup L.B., Pedersen MF. (2008). Effects of salinity and water temperature on the ecological performance of *Zostera marina*. Aquatic Botany, 88, 239–246.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIAGNOSIS, MONITORING AND MANAGEMENT OF PLANT DISEASES

Assoc. Prof. Dr. Filiz ÜNAL
Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, 26160, Eskişehir, Türkiye

filiz.unal@ogu.edu.tr - 0000-0003-4620-5397

ABSTRACT

Plant diseases are among the most important biotic stress factors causing significant yield and quality losses in agricultural production and directly affecting global food security. Conventional methods for disease diagnosis and monitoring are largely based on expert visual assessment and laboratory analyses, which impose considerable limitations in terms of time and cost, particularly across large production areas. In recent years, with the rapid advancement of digitalization in agriculture, artificial intelligence (AI) technologies capable of analyzing large and heterogeneous datasets have offered new and effective approaches in the field of plant protection.

In this study, the major subfields of artificial intelligence, including machine learning, deep learning, natural language processing, computer vision, and robotic systems, are comprehensively examined in the context of plant disease diagnosis, monitoring, and management. The roles of machine learning approaches in disease risk prediction and early warning systems, the contributions of deep learning to image-based disease diagnosis and severity analysis, the complementary function of natural language processing in knowledge management and decision-support processes, and the importance of computer vision in early detection, severity assessment, and remote sensing applications are discussed in detail. In addition, the potential of robotic systems to translate AI-based analyses into field applications and to enable site-specific interventions is evaluated.

Analysis of recent studies reported in the literature demonstrates that AI-based systems have significant potential for the early detection of plant diseases, the development of targeted disease management strategies, and the support of integrated pest management (IPM) approaches. However, factors such as data quality, model generalizability, and variability in field conditions emerge as major constraints limiting the widespread and reliable adoption of these technologies. In conclusion, artificial intelligence should be regarded not as a replacement for expert knowledge in plant protection, but as a complementary tool that strengthens decision-support processes when combined with interdisciplinary approaches and field-based applications.

Keywords: artificial intelligence, plant diseases, machine learning, deep learning, computer vision, robotics

YAPAY ZEKÂNIN BİTKİ HASTALIKLARININ TANISI, İZLENMESİ VE YÖNETİMİNDE KULLANIMI

ÖZET

Bitki hastalıkları, tarımsal üretimde verim ve kalite kayıplarına neden olan en önemli biyotik stres faktörleri arasında yer almakta ve küresel gıda güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Geleneksel hastalık tanı ve izleme yöntemleri çoğunlukla uzman gözlemine ve laboratuvar analizlerine dayanmakta olup, geniş üretim alanlarında zaman ve maliyet açısından önemli sınırlılıklar içermektedir. Son yıllarda tarımda dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte, büyük ve heterojen veri setlerinin analizine olanak tanıyan yapay zekâ (YZ) teknolojileri, bitki koruma alanında yeni ve etkili yaklaşımlar sunmuştur.

Bu çalışmada yapay zekânın temel alt dalları olan makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, bilgisayarlı görü ve robotik sistemler; bitki hastalıklarının tanısı, izlenmesi ve yönetimi bağlamında kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Makine öğrenmesi yaklaşımlarının hastalık risk tahmini ve erken uyarı sistemlerindeki rolü; derin öğrenmenin görüntü tabanlı hastalık tanısı ve şiddet analizindeki katkıları; doğal dil işlemenin bilgi yönetimi ve karar destek süreçlerindeki tamamlayıcı işlevi; bilgisayarlı görünün erken tanı, şiddet değerlendirmesi ve uzaktan algılama uygulamalarındaki önemi ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Ayrıca robotik sistemlerin, yapay zekâ tabanlı analizlerin sahaya aktarılmasında ve hassas müdahalelerin gerçekleştirilmesinde sunduğu olanaklar değerlendirilmiştir.

Literatürde rapor edilen güncel çalışmaların analizi, yapay zekâ tabanlı sistemlerin bitki hastalıklarının erken tespiti, hedefe yönelik mücadele stratejilerinin geliştirilmesi ve entegre mücadele (IPM) yaklaşımlarının desteklenmesi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte veri kalitesi, model genellenebilirliği ve saha koşullarındaki değişkenlik gibi faktörler, bu teknolojilerin yaygın ve güvenilir kullanımını sınırlayan temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ, bitki koruma alanında uzman bilgisini ikame eden bir araçtan ziyade, karar destek süreçlerini güçlendiren tamamlayıcı bir teknoloji olarak değerlendirilmeli; disiplinler arası yaklaşımlar ve saha temelli uygulamalarla birlikte ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, bitki hastalıkları, makine öğrenmesi, derin öğrenme, bilgisayarlı görü, robotik

GİRİŞ

Bitki hastalıkları, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği tehdit eden en önemli biyotik stres faktörleri arasında yer almaktadır. Fungal, bakteriyel, viral ve oomycete kökenli patojenler; tarla bitkilerinde, sebzelerde, meyve bahçelerinde ve süs bitkilerinde ciddi verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Özellikle küresel ölçekte artan gıda talebi ve iklim değişikliğinin hastalık epidemiyolojisi üzerindeki etkileri dikkate alındığında, bitki hastalıklarının etkin şekilde yönetilmesi stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir (Agrios, 2005; Savary et al., 2019).

Hastalıkların neden olduğu kayıplar yalnızca üretim miktarını azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda ürün kalitesini düşürmekte, hasat sonrası depolama sürecinde bozulmaları artırmakta ve üretim maliyetlerini yükseltmektedir.

Geleneksel bitki hastalığı teşhis ve izleme yöntemleri genellikle görsel semptom değerlendirmesi, mikroskobik inceleme, izolasyon çalışmaları ve moleküler tanı tekniklerine dayanmaktadır. Bu yöntemler yüksek doğruluk sağlamakla birlikte, zaman alıcı olmaları, laboratuvar altyapısı gerektirmeleri ve uzman bilgiye bağımlı olmaları nedeniyle geniş üretim alanlarında her zaman pratik çözümler sunamamaktadır. Ayrıca birçok bitki hastalığında semptomların erken enfeksiyon dönemlerinde belirgin olmaması veya abiyotik stres faktörleriyle benzerlik göstermesi, yanlış veya gecikmiş tanı riskini artırmaktadır (Barbedo, 2016). Bu durum, özellikle erken müdahale gerektiren hastalıklarda mücadele başarısını olumsuz etkilemektedir.

Son yıllarda tarımda dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte, bitki koruma alanında büyük miktarda veri üretilmeye başlanmıştır. Meteorolojik veriler, uzaktan algılama görüntüleri, tarla sensörlerinden elde edilen ölçümler ve dijital tarım platformlarında tutulan kayıtlar, bitki hastalıklarının izlenmesi açısından önemli bir veri kaynağı oluşturmaktadır. Ancak bu büyük ve karmaşık veri setlerinin geleneksel yöntemlerle analiz edilmesi oldukça zordur. Bu noktada yapay zekâ, büyük veri setlerini işleyebilme ve karmaşık örüntüleri öğrenebilme kapasitesi sayesinde bitki koruma alanında yeni bir paradigma sunmaktadır (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar, bitki hastalıklarının otomatik tanısı, hastalık şiddetinin nicel olarak belirlenmesi, hastalık yayılımının izlenmesi ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları, görüntü, çevresel ve sensör verilerinden anlamlı sonuçlar çıkararak hastalık riskinin önceden tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede mücadele kararları daha zamanında ve hedefe yönelik olarak alınabilmektedir (Liakos et al., 2018).

Bununla birlikte yapay zekânın bitki koruma alanındaki rolü, yalnızca teknik bir tanı aracı olmanın ötesine geçmektedir. Yapay zekâ, entegre mücadele (IPM) yaklaşımlarının dijitalleşmesini destekleyen bir karar destek bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Bilgisayarlı görü, doğal dil işleme ve robotik sistemlerle entegre edilen yapay zekâ uygulamaları, saha gözlemlerinin otomatikleştirilmesine ve uzman bilgi birikiminin daha geniş kitlelere ulaştırılmasına katkı sağlamaktadır. Ancak bu teknolojilerin etkin ve güvenilir biçimde kullanılabilmesi için, saha koşullarını temsil eden veri setleriyle desteklenmesi ve uzman denetimiyle birlikte uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, yapay zekânın temel alt dalları olan makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, bilgisayarlı görü ve robotik sistemler; bitki hastalıklarının tanısı, izlenmesi ve yönetimi bağlamında kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Literatürde rapor edilen güncel çalışmalar ışığında, bu yaklaşımların sağladığı olanaklar ve karşılaşılan sınırlılıklar değerlendirilmiş; yapay zekâ tabanlı sistemlerin bitki koruma alanındaki mevcut durumu ve gelecekteki potansiyeli tartışılmıştır.

1. MAKİNE ÖĞRENMESİ (MACHINE LEARNING)

Makine öğrenmesi, bilgisayar sistemlerinin açıkça programlanmadan, geçmiş verilerden öğrenerek tahmin ve sınıflandırma yapabilmesini sağlayan yapay zekâ alt dalıdır. Bitki hastalıkları bağlamında makine öğrenmesi, özellikle hastalık gelişimini etkileyen çevresel ve biyolojik faktörlerin modellenmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Sıcaklık, bağıl nem, yağış miktarı, toprak özellikleri, bitki çeşidi ve geçmiş hastalık kayıtları gibi çok sayıda değişkenin birlikte değerlendirilmesi, hastalık epidemiyolojisinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır (Liakos et al., 2018).

Makine öğrenmesi algoritmaları, bitki hastalıklarının risk tahmini ve erken uyarı sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel istatistiksel modeller çoğu zaman doğrusal ilişkiler varsayarken, makine öğrenmesi yöntemleri doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkileri başarıyla modelleyebilmektedir. Rumpf ve ark. (2010), destek vektör makineleri (SVM) kullanarak şeker pancarında yaprak hastalıklarının erken dönemde tespit edilebileceğini göstermiştir. Benzer şekilde Jeong ve ark. (2016), Random Forest algoritmalarının bitki hastalıkları ve verim tahmininde yüksek doğruluk sağladığını bildirmiştir (Çizelge 1).

Makine öğrenmesi, hastalık-çevre ilişkilerinin modellenmesinde de önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle meteorolojik verilerle entegre edilen modeller, hastalık gelişimi için uygun koşulların önceden tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Chlingaryan ve ark. (2018), makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımların çevresel verilerle birlikte kullanıldığında hastalık epidemiyolojisinin modellenmesinde etkili olduğunu rapor etmiştir. Bu tür çalışmalar, fungisit uygulamalarının zamanlamasının optimize edilmesine katkı sağlamaktadır (Çizelge 1).

Makine öğrenmesi algoritmaları, hastalık sınıflandırması amacıyla da kullanılmaktadır. Karar ağaçları, k-en yakın komşu (KNN) ve Naive Bayes gibi yöntemler; farklı hastalık türlerinin ayrımında uygulanmaktadır. Shah ve ark. (2019), pirinçte görülen blast hastalığının sınıflandırılmasında makine öğrenmesi tabanlı yöntemlerin başarılı sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Bu yaklaşımlar, özellikle görüntü veya sensör verileriyle birlikte kullanıldığında tanı doğruluğunu artırmaktadır (Çizelge 1).

Bununla birlikte makine öğrenmesi modellerinin başarısı, büyük ölçüde veri kalitesine ve veri setlerinin temsil gücüne bağlıdır. Eksik, dengesiz veya hatalı veriler, model performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca belirli bir bölge veya yıl için geliştirilen modellerin farklı coğrafyalarda doğrudan uygulanması genelleme sorunlarına yol açabilmektedir (Kim et al., 2021). Bu nedenle güncel çalışmalarda, makine öğrenmesi modellerinin çok yıllı ve çok bölgeli veri setleriyle eğitilmesi önerilmektedir.

Makine öğrenmesi, bitki hastalıklarında çoğunlukla karar destek sistemlerinin bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Tek başına bir tanı aracı olmaktan ziyade, bilgisayarlı görü, derin öğrenme ve uzman bilgisiyle entegre edildiğinde daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Bu yaklaşım, entegre mücadele (IPM) stratejilerinin dijitalleşmesi açısından da önemli bir adım olarak görülmektedir.

Sonuç olarak makine öğrenmesi, bitki hastalıklarının erken tespiti, risk tahmini ve yönetim stratejilerinin planlanmasında etkili bir araçtır. Ancak sahada güvenilir ve sürdürülebilir

uygulamalar için veri altyapısının güçlendirilmesi ve uzman denetiminin sürdürülmesi gerekmektedir.

Çizelge 1. Makine öğrenmesi kullanılarak bitki hastalıkları üzerine yapılan çalışmalar

Yazar (Yıl)	Bitki / Hastalık	Kullanılan Algoritma	Çalışmanın Amacı
Rumpf et al., 2010	Şeker pancarı – yaprak hastalıkları	SVM	Erken hastalık tanısı
Jeong et al., 2016	Çeltik – blast	Random Forest	Risk ve verim tahmini
Chlingaryan et al., 2018	Buğday – fungal hastalıklar	Random Forest	Epidemiyolojik modelleme
Shah et al., 2019	Pirinç – blast	Karar ağaçları	Hastalık sınıflandırma
Kim et al., 2021	Soğan – mildiyö	Makine öğrenmesi	Hastalık tahmini
Li et al., 2020	Buğday – pas	SVM	Erken uyarı sistemi

2. DERİN ÖĞRENME (DEEP LEARNING)

Derin öğrenme, çok katmanlı yapay sinir ağlarına dayanan ve büyük hacimli verilerden karmaşık örüntüleri otomatik olarak öğrenebilen bir makine öğrenmesi yaklaşımıdır. Bitki hastalıkları alanında derin öğrenmenin öne çıkmasının temel nedeni, özellikle görüntü tabanlı verilerde klasik makine öğrenmesi yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğruluk ve genelleme kapasitesi sunmasıdır. Yaprak, gövde ve meyve yüzeylerinde ortaya çıkan hastalık belirtileri; renk, doku ve şekil gibi çok boyutlu özellikler içerdiğinden, bu tür verilerin analizinde derin öğrenme modelleri önemli avantajlar sağlamaktadır (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Derin öğrenme tabanlı çalışmaların büyük bir bölümü, konvolüsyonel sinir ağları (Convolutional Neural Networks, CNN) üzerine yoğunlaşmaktadır. CNN mimarileri, görüntülerdeki yerel özellikleri otomatik olarak öğrenebilmekte ve manuel özellik çıkarımı gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Mohanty ve ark. (2016), CNN tabanlı modellerin çok sayıda bitki türü ve hastalığı yüksek doğrulukla sınıflandırabildiğini göstermiştir. Benzer şekilde Ferentinos (2018), sebze ve meyve bitkilerinde derin öğrenme modellerinin otomatik hastalık tanısında etkili olduğunu rapor etmiştir. Bu çalışmalar, derin öğrenmenin bitki patolojisinde tanı süreçlerini hızlandırma potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır (Çizelge 2).

Derin öğrenme yaklaşımları, yalnızca hastalık türünün belirlenmesi ile sınırlı kalmamaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, derin öğrenmenin hastalık şiddetinin nicel olarak belirlenmesi ve enfeksiyonun zamansal ilerleyişinin izlenmesi amacıyla da kullanılabileceğini göstermektedir. Lezyon alanlarının segmentasyonu ve yüzde kaplama oranlarının hesaplanması, hastalığın bitki üzerindeki etkisinin daha objektif biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Too ve ark. (2019), derin öğrenme modellerinin hastalık şiddetini sınıflandırmada başarılı sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Bu yaklaşım, entegre mücadele (IPM) programlarında ekonomik zarar eşiğinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Çizelge 2).

Derin öğrenmenin bitki hastalıkları alanındaki bir diğer önemli kullanım alanı, erken enfeksiyon dönemlerinin tespitidir. İnsan gözüyle fark edilmesi zor olan hafif renk değişimleri ve doku bozulmaları, derin öğrenme modelleri tarafından algılanabilmektedir. Sladojevic ve ark. (2016), derin sinir ağlarının erken dönem yaprak hastalıklarının tanınmasında etkili olduğunu rapor etmiştir. Bu durum, erken müdahale imkânı sağlayarak hastalık yayılımının sınırlandırılmasına katkı sunmaktadır.

Bununla birlikte derin öğrenme tabanlı sistemlerin bitki koruma alanında bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. En önemli sorunlardan biri, modellerin büyük ve dengeli veri setlerine ihtiyaç duymasıdır. Kontrollü koşullarda elde edilen görüntülerle eğitilen modellerin, gerçek tarla koşullarında performans kaybı yaşadığı sıklıkla bildirilmektedir (Barbedo, 2016). Işık değişimleri, arka plan karmaşıklığı ve aynı bitkide birden fazla stres faktörünün bulunması, model başarısını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle güncel çalışmalarda, derin öğrenme modellerinin farklı çevresel koşulları kapsayan veri setleriyle eğitilmesi ve veri artırma (data augmentation) tekniklerinin kullanılması önerilmektedir.

Derin öğrenme modellerinin bir diğer tartışmalı yönü, “kara kutu” (black-box) yapılarıdır. Modelin belirli bir kararı neden verdiğinin açıklanamaması, sahada güvenilirlik sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda açıklanabilir yapay zekâ (Explainable AI, XAI) yaklaşımlarının bitki hastalıkları alanına entegrasyonu gündeme gelmiştir. Barredo Arrieta ve ark. (2020), açıklanabilir yapay zekâ yöntemlerinin kullanıcı güvenini artırabileceğini ve karar destek sistemlerinin kabulünü kolaylaştırabileceğini vurgulamıştır.

Sonuç olarak derin öğrenme, bitki hastalıklarının tanısı, şiddet değerlendirmesi ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde yapay zekâ tabanlı yaklaşımların temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Ancak bu teknolojinin sahada güvenilir biçimde uygulanabilmesi için veri kalitesi, model genellenebilirliği ve uzman denetimi gibi unsurların birlikte ele alınması gerekmektedir.

Çizelge 2. Derin öğrenme kullanılarak bitki hastalıkları üzerine yapılan çalışmalar

Yazar (Yıl)	Bitki	Kullanılan Model	Çalışmanın Amacı
Mohanty et al., 2016	Çoklu bitki türleri	CNN	Hastalık sınıflandırma
Ferentinos, 2018	Sebze bitkileri	CNN	Otomatik hastalık tanısı
Sladojevic et al., 2016	Yaprak hastalıkları	Derin CNN	Erken tanı
Too et al., 2019	Çeşitli bitkiler	CNN	Hastalık şiddeti analizi
Brahimi et al., 2018	Domates	Deep CNN	Erken teşhis
Liu et al., 2021	Üzüm	CNN	Şiddet ve yayılım analizi

3. DOĞAL DİL İŞLEME (NATURAL LANGUAGE PROCESSING, NLP)

Doğal dil işleme (Natural Language Processing, NLP), bilgisayarların insan dilini anlamasını, yorumlamasını ve yapılandırılmamış metin verilerinden anlamlı bilgi üretmesini sağlayan yapay zekâ alt dalıdır. Bitki hastalıkları bağlamında NLP, doğrudan hastalık tanısından ziyade bilgi yönetimi, karar destek ve erken uyarı sistemlerinin desteklenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Tarımsal üretimde üretilen raporlar, danışmanlık kayıtları, bilimsel yayınlar ve üretici geri bildirimleri gibi büyük metin veri setlerinin analizi, NLP yaklaşımlarını bitki koruma açısından stratejik hale getirmektedir (Wolfert et al., 2017) (Çizelge 3).

Bitki koruma alanında üretilen bilimsel literatürün hacmi her geçen yıl artmaktadır. Bu durum, araştırmacıların ve uygulayıcıların güncel bilgiye hızlı ve doğru biçimde ulaşmasını zorlaştırmaktadır. NLP tabanlı metin madenciliği ve özetleme teknikleri, binlerce bilimsel yayını analiz ederek belirli patojenler, konukçu bitkiler veya mücadele yöntemleriyle ilgili temel bilgilerin çıkarılmasına olanak tanımaktadır. Kamilaris ve Prenafeta-Boldú (2018), tarım alanında NLP'nin bilgiye erişimi kolaylaştıran ve karar süreçlerini destekleyen önemli bir araç olduğunu vurgulamıştır (Çizelge 3).

NLP'nin bitki hastalıkları alanındaki bir diğer önemli uygulaması, danışmanlık ve karar destek sistemleridir. Üreticiler tarafından yazılı veya sözlü olarak iletilen sorunların sınıflandırılması, bu sorunların uygun uzmanlık alanlarına yönlendirilmesi ve standart önerilerin otomatik olarak sunulması NLP tabanlı sistemler sayesinde mümkün hale gelmektedir. Bu yaklaşım, özellikle tarımsal danışmanlık hizmetlerinin sınırlı olduğu bölgelerde önemli avantajlar sağlamaktadır (Liakos et al., 2018).

Ayrıca NLP, saha raporlarının ve gözlem kayıtlarının analizinde de kullanılmaktadır. Tarla gözlem notları, hastalık bildirim formları ve dijital tarım platformlarında yer alan metin tabanlı veriler, NLP algoritmalarıyla analiz edilerek bölgesel hastalık yayılım eğilimleri ortaya konabilmektedir. Min ve ark. (2020), tarım alanında metin madenciliğinin büyük veri setlerinden anlamlı sonuçlar çıkarılmasında etkili olduğunu bildirmiştir. Bu tür analizler, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilmektedir (Çizelge 3).

Bununla birlikte NLP tabanlı sistemlerin bitki koruma alanında doğrudan tanı aracı olarak kullanılması çeşitli sınırlılıklar içermektedir. Doğal dilde ifade edilen bilgiler, çoğu zaman belirsizlik ve öznel değerlendirmeler içermektedir. Bu nedenle NLP uygulamalarının ürettiği çıktılar, mutlaka uzman değerlendirmesiyle birlikte ele alınmalıdır. Güncel çalışmalarda NLP, bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesi tabanlı sistemlerle entegre edilerek daha güvenilir karar destek mekanizmaları oluşturulması yönünde kullanılmaktadır.

Sonuç olarak NLP, bitki hastalıklarının doğrudan teşhisinden ziyade, bilgiye erişim, bilginin yapılandırılması ve karar destek süreçlerinin güçlendirilmesi açısından önemli bir tamamlayıcı teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte tarımsal veri altyapılarının gelişmesi ve dijital kayıtların artmasıyla birlikte NLP tabanlı uygulamaların bitki koruma alanındaki önemi daha da artacaktır.

Çizelge 3. Doğal dil işlemenin (NLP) bitki hastalıkları ve bitki koruma alanındaki uygulamaları

Uygulama Alanı	Kullanım Amacı	İlgili Çalışma
Literatür madenciliği	Bilgi özetleme ve eğilim analizi	Wolfert et al., 2017
Danışmanlık sistemleri	Üretici yönlendirme	Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018
Metin tabanlı karar destek	Hastalık bildirimi analizi	Liakos et al., 2018
Tarımsal rapor analizi	Bölgesel izleme	Min et al., 2020
Erken uyarı mesajları	Bilgi yayılımı	FAO, 2021

4. BİLGİSAYARLI GÖRÜ (COMPUTER VISION)

Bilgisayarlı görü, görüntü ve video verilerinin bilgisayarlar tarafından analiz edilmesini ve anlamlandırılmasını sağlayan yapay zekâ alanıdır. Bitki hastalıkları açısından bilgisayarlı görü, patojen kaynaklı görsel belirtilerin (leke, kloroz, nekroz, deformasyon vb.) otomatik olarak tanımlanmasına olanak tanıyan en kritik teknolojilerden biri olarak kabul edilmektedir. Yaprak, gövde ve meyve yüzeylerinde ortaya çıkan semptomların nicel olarak analiz edilebilmesi, hastalık tanısında subjektif değerlendirmelerin azaltılmasını sağlamaktadır (Barbedo, 2016).

Bilgisayarlı görü uygulamaları, bitki hastalıklarının erken tanısı açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel gözleme dayalı yöntemlerde, hastalık belirtileri çoğunlukla ileri enfeksiyon aşamalarında fark edilebilmektedir. Buna karşılık görüntü tabanlı analizler, insan gözüyle zor fark edilen renk ve doku değişimlerini tespit edebilmekte ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Pydipati ve ark. (2006), narenciye yapraklarında hastalık belirtilerinin renk ve doku özellikleri kullanılarak yüksek doğrulukla tanımlanabileceğini göstermiştir (Çizelge 4).

Son yıllarda bilgisayarlı görü, derin öğrenme yaklaşımlarıyla birlikte daha da güçlü hale gelmiştir. Konvolüsyonel sinir ağları (CNN), görüntülerdeki karmaşık örüntüleri otomatik olarak öğrenebilmekte ve farklı bitki türleri ile hastalık etmenlerini ayırt edebilmektedir. Sladojevic ve ark. (2016), CNN tabanlı modellerin farklı yaprak hastalıklarını başarılı şekilde sınıflandırabildiğini rapor etmiştir (Çizelge 4). Bu durum, bilgisayarlı görünün manuel özellik çıkarımına dayalı klasik görüntü işleme yöntemlerine kıyasla önemli bir üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır.

Bilgisayarlı görü yalnızca hastalık tanısıyla sınırlı kalmamakta, hastalık şiddetinin belirlenmesi ve yayılımın izlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Lezyon alanlarının otomatik olarak segmentasyonu, hastalığın bitki üzerindeki kaplama oranının hesaplanmasına olanak tanımaktadır. Zhang ve ark. (2020), buğday yapraklarında bilgisayarlı görü tabanlı analizlerle hastalık şiddetinin nicel olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir. Bu tür yaklaşımlar, entegre mücadele programlarında ekonomik zarar eşiğinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır (Çizelge 4).

Bununla birlikte bilgisayarlı görü uygulamalarının tarla koşullarında bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Işık koşullarındaki değişkenlik, arka plan karmaşıklığı, yaprakların üst üste binmesi ve aynı bitkide birden fazla stres faktörünün bulunması, görüntü tabanlı tanının

doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir (Barbedo, 2016). Bu nedenle güncel çalışmalarda, bilgisayarlı görü sistemlerinin farklı çevresel koşulları kapsayan veri setleriyle eğitilmesi ve çoklu görüntüleme teknikleriyle (RGB, termal, multispektral) desteklenmesi önerilmektedir (Baranowski et al., 2015).

Bilgisayarlı görünün bitki hastalıklarındaki bir diğer önemli kullanım alanı, uzaktan algılama ve hassas tarım uygulamalarıdır. İnsansız hava araçları (İHA) ve sabit kamera sistemleri aracılığıyla elde edilen görüntüler, geniş alanlarda hastalık dağılımının haritalanmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, özellikle büyük ölçekli tarım alanlarında zaman ve iş gücü tasarrufu sağlamaktadır. Singh ve ark. (2021), görüntü tabanlı sistemlerin erken dönemde hastalık tespitine katkı sağlayarak mücadele stratejilerinin optimize edilebileceğini bildirmiştir (Çizelge 4).

Sonuç olarak bilgisayarlı görü, bitki hastalıklarının tanısı, şiddet değerlendirmesi ve mekânsal dağılımının belirlenmesi açısından yapay zekâ tabanlı sistemlerin temel bileşenlerinden biridir. Ancak bu teknolojinin sahada güvenilir biçimde kullanılabilmesi için farklı çevresel koşulları temsil eden veri setleriyle desteklenmesi ve diğer yapay zekâ alt dallarıyla entegre edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4. Bilgisayarlı görü kullanılarak bitki hastalıkları üzerine yapılan çalışmalar

Yazar (Yıl)	Bitki	Kullanılan Yaklaşım	Çalışmanın Amacı
Pydipati et al., 2006	Narenciye	Görüntü işleme	Lezyon tespiti
Barbedo, 2016	Çeşitli bitkiler	Görsel analiz	Otomatik hastalık teşhisi
Sladojevic et al., 2016	Yaprak hastalıkları	CNN	Görüntü tabanlı sınıflandırma
Baranowski et al., 2015	Arpa	Termal + RGB	Erken stres/hastalık ayrımı
Zhang et al., 2020	Buğday	Görüntü segmentasyonu	Hastalık şiddeti analizi
Singh et al., 2021	Domates	Computer Vision	Erken hastalık tanısı

5. ROBOTİK

Robotik sistemler, yapay zekâ algoritmalarının fiziksel tarım ortamlarında uygulanmasını mümkün kılan teknolojiler olarak bitki koruma alanında giderek artan bir öneme sahiptir. Tarım robotları; bitki hastalıklarının erken dönemde tespit edilmesi, hastalık şiddetinin izlenmesi ve yalnızca gerekli alanlara müdahale edilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu sistemler, görüntüleme teknolojileri, sensörler ve yapay zekâ tabanlı analiz yazılımlarıyla donatılarak sürekli ve yüksek çözünürlüklü veri toplayabilmektedir (Bechar & Vigneault, 2016).

Bitki hastalıklarıyla mücadelede robotik sistemlerin en önemli katkılarından biri, yerinde (site-specific) izleme ve müdahale olanağı sağlamasıdır. Tarla veya sera ortamında hareket edebilen

mobil robotlar, bitki sıraları arasında dolaşarak yaprak, gövde ve meyve yüzeylerini görüntüleyebilmekte; elde edilen veriler bilgisayarlı görü ve derin öğrenme algoritmalarıyla analiz edilerek hastalıklı bitkiler belirlenebilmektedir. Duckett ve ark. (2018), tarla robotlarının hastalık izleme ve erken uyarı sistemleriyle entegre edilmesinin, geleneksel gözlem yöntemlerine kıyasla daha yüksek mekânsal çözünürlük sağladığını rapor etmiştir (Çizelge 5).

Robotik sistemlerin bir diğer önemli avantajı, kimyasal mücadelede hassas uygulamaya olanak tanımasıdır. Otonom veya yarı otonom tarım araçları, yalnızca hastalıklı bitkilere veya sınırlı alanlara ilaç uygulayarak kimyasal kullanım miktarını önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu yaklaşım, hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte hem de üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır (Bechar & Vigneault, 2016). Özellikle fungisit kullanımının yoğun olduğu bitki hastalıklarında, robotik sistemlerin entegre mücadele (IPM) stratejilerine önemli katkılar sunabileceği vurgulanmaktadır.

Sera koşullarında robotik uygulamalar, açık tarla koşullarına kıyasla daha hızlı yaygınlaşmaktadır. Kontrollü çevre koşulları, robotların hareket kabiliyeti ve algılama doğruluğu açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bac ve ark. (2014), sera robotlarının bitki sağlığının sürekli izlenmesine olanak tanıdığını ve hastalık belirtilerinin erken dönemde tespit edilmesine katkı sağladığını bildirmiştir (Çizelge 5). Bu durum, özellikle yüksek ekonomik değere sahip sebze ve süs bitkilerinde büyük önem taşımaktadır.

Bununla birlikte robotik sistemlerin bitki hastalıklarıyla mücadelede yaygın kullanımının önünde bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Yüksek başlangıç maliyetleri, bakım gereksinimleri ve teknik uzmanlık ihtiyacı, küçük ve orta ölçekli işletmeler için önemli engeller oluşturmaktadır. Ayrıca robotik sistemlerin farklı bitki türleri, tarla yapıları ve hastalık etmenlerine uyum sağlayabilmesi için esnek ve modüler tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Shamshiri et al., 2018) (Çizelge 5). Bu nedenle güncel literatürde robotik, kısa vadeli bir çözümden ziyade, orta ve uzun vadede yaygınlaşması beklenen stratejik bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak robotik sistemler, yapay zekâ tabanlı bitki hastalığı tanı ve izleme yaklaşımlarının sahaya aktarılmasında kritik bir köprü görevi görmektedir. Gelecekte sensör teknolojilerinin ucuzlaması, yapay zekâ algoritmalarının daha açıklanabilir hale gelmesi ve tarım robotlarının erişilebilirliğinin artmasıyla birlikte, robotik uygulamaların bitki koruma alanında daha yaygın biçimde kullanılacağı öngörülmektedir.

Çizelge 5. Robotik sistemlerin bitki hastalıklarıyla mücadelede kullanımı

Sistem Türü	Bitki / Alan	Uygulama	Kaynak
Tarla robotu	Buğday	Hastalık izleme	Duckett et al., 2018
Sera robotu	Domates	Sürekli gözlem	Bac et al., 2014
Otonom araç	Meyve bahçeleri	Lokal ilaçlama	Bechar & Vigneault, 2016
Mobil robot	Sebzeler	Görüntü tabanlı tanı	Shamshiri et al., 2018

SONUÇ

Bu çalışma, yapay zekânın temel alt dallarının bitki hastalıklarının tanısı, izlenmesi ve yönetiminde sunduğu olanakları kapsamlı bir biçimde ortaya koymuştur. Literatürde yer alan güncel çalışmalar, makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımların hastalıkların erken tespiti ve risk tahmininde etkili olduğunu; bilgisayarlı görü ve uzaktan algılama uygulamalarının hastalık şiddetinin nicel olarak değerlendirilmesine ve mekânsal dağılımın izlenmesine katkı sağladığını göstermektedir. Doğal dil işleme ve robotik sistemler ise bilgi yönetimi, karar destek süreçleri ve saha uygulamalarının desteklenmesi açısından tamamlayıcı roller üstlenmektedir. Bununla birlikte, veri kalitesi, model genellenebilirliği ve tarla koşullarındaki değişkenlik gibi faktörler, yapay zekâ tabanlı sistemlerin yaygın ve güvenilir kullanımını sınırlayan temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ, bitki koruma alanında uzman bilgisinin yerini alan bir araç olarak değil; entegre mücadele (IPM) yaklaşımları çerçevesinde karar destek süreçlerini güçlendiren tamamlayıcı bir teknoloji olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Agrios, G. N. (2005). Plant pathology (5th ed.). Elsevier Academic Press.

Bac, C. W., Hemming, J., van Tuijl, B. A. J., Barth, R., Wais, E., & van Henten, E. J. (2014). Performance evaluation of a harvesting robot for sweet pepper. *Biosystems Engineering*, 124, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.05.005

Baranowski, P., Jedryczka, M., Mazurek, W., Babula-Skowronska, D., Siedliska, A., & Kaczmarek, J. (2015). Hyperspectral and thermal imaging for early detection of plant diseases. *Biosystems Engineering*, 137, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.06.005

Barbedo, J. G. A. (2016). A review on the main challenges in automatic plant disease identification. *Biosystems Engineering*, 144, 52–60. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.01.017

Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., … Herrera, F. (2020). Explainable artificial intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges. *Information Fusion*, 58, 82–115. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012

Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94–111. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014

Brahimi, M., Boukhalfa, K., & Moussaoui, A. (2018). Deep learning for tomato diseases classification. *Applied Artificial Intelligence*, 32(3), 1–17. https://doi.org/10.1080/08839514.2018.1443321

Chlingaryan, A., Sukkarieh, S., & Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 61–69. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.036

Duckett, T., Pearson, S., Blackmore, S., Grieve, B., Smith, M., Chen, W. H. From, P. J. (2018). Agricultural robotics: The future of agricultural mechanisation? *Field Robotics*, 35(4), 585–607. https://doi.org/10.1002/rob.21756

FAO. (2021). *Digital technologies in agriculture and rural areas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 311–318. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009

Jeong, J. H., Resop, J. P., Mueller, N. D., Fleisher, D. H., Yun, K., Butler, E. E., … Kim, S. H. (2016). Random forests for global and regional crop yield predictions. *PLOS ONE*, 11(6), e0156571. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156571

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016

Kim, N., Ha, J., Lee, S., & Park, J. (2021). Machine learning-based disease forecasting in onion. *Agronomy*, 11(4), 685. https://doi.org/10.3390/agronomy11040685

Li, X., Zhang, M., Li, Z., & Chen, Y. (2020). Wheat rust disease forecasting using machine learning approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105576. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105576

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674

Liu, B., Zhang, Y., He, D., & Li, Y. (2021). Identification of grape leaf diseases using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106040. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106040

Min, S., Lee, B., & Yoon, S. (2020). Deep learning in bioinformatics and agriculture. *Briefings in Bioinformatics*, 21(1), 1–15. https://doi.org/10.1093/bib/bbz089

Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1419. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419

Pydipati, R., Burks, T. F., & Lee, W. S. (2006). Identification of citrus disease using color texture features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 52(1–2), 49–59. https://doi.org/10.1016/j.compag.2006.01.004

Rumpf, T., Mahlein, A. K., Steiner, U., Oerke, E. C., Dehne, H. W., & Plümer, L. (2010). Early detection and classification of plant diseases with support vector machines. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(1), 91–99.https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.06.009

Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nature Ecology & Evolution, 3, 430–439. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y

Shah, J. P., Prajapati, H. B., & Dabhi, V. K. (2019). A survey on detection and classification of rice plant diseases. *Intelligent Decision Technologies*, 13(3), 303–320. https://doi.org/10.3233/IDT-190301

Shamshiri, R. R., Weltzien, C., Hameed, I. A., Yule, I. J., Grift, T. E., Balasundram, S. K., … Chowdhary, G. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *Biosystems Engineering*, 170, 1–18. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.02.002

Singh, V., Misra, A. K., & Mishra, A. (2021). Detection of plant leaf diseases using image processing and computer vision. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128, 35–46. https://doi.org/10.1007/s41348-020-00354-9

Sladojevic, S., Arsenovic, M., Anderla, A., Culibrk, D., & Stefanovic, D. (2016). Deep neural networks for plant disease recognition. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2016, 3289801.https://doi.org/10.1155/2016/3289801

Too, E. C., Yujian, L., Njuki, S., & Yingchun, L. (2019). A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 272–279.https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.032

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023

Zhang, S., Wu, X., You, Z., & Zhang, L. (2020). Leaf image-based disease identification and severity assessment. *Biosystems Engineering*, 194, 180–191. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.006

SOĞUK HAVA DEPOLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ve İZOLASYONUN ÖNEMİ

Prof. Dr. Havva Eylem POLAT[1]

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara, Türkiye.

epolat@ankara.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-2159-0666

Araş. Gör. Ahmet Cengiz YILDIRIM[2]

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID ID: 0000-0002-1049-437X

acyildirim@ankara.edu.tr

ÖZET

Nüfusun devamlı ve dengeli beslenebilmesi için sürdürülebilir gıda tedariği ve güvenliği son derece önemli bir konudur. Tarım sektörü bir yandan artan talebi karşılarken öte yandan iklim değişikliğinin olumsuz baskısı altında üretime devam etmek zorundadır. Üretilen ürünlerin muhafazası oldukça önemli bir konudur. Çünkü hasat dönemlerinde talep edilenden daha fazla ürün miktarı söz konusu olabilir. Diğer taraftan insanoğlunun değişen tüketim alışkanlıkları ile artık gıda ürünlerinde bir süreklilik sağlanması gerekmektedir. Bu noktada ürün depolama yapıları ön plana çıkmaktadır. Depolama yapıları, ürünleri optimum şekilde muhafaza etmek için iç ortamda iklimsel olarak istenilen çevre koşullarını sağlarken aynı zamanda bu görevi enerji bakımından tasarruflu bir şekilde gerçekleştirmelidir. Enerji verimliliği tüm ülkeler için önemlidir. Dünya genelinde artan nüfusla ve gelişen teknoloji ile beraber enerjiye olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde elektrik enerjisi tüketimi 2024 yılında 353,6 TWh olarak gerçekleşirken bu miktarın 2030 yılında 455,3 TWh ve 2035 yılında 510,5 TWH olması beklenmektedir. Depoların tasarımında doğru malzeme seçimleri, iyi planlamış iklimlendirme sistemleri ile hem depolanan ürünler uzun bir süre muhafaza edilebilir hem de enerji verimli bir şekilde kullanılarak israftan kaçınılmış olur.

Bu çalışmada sürdürülebilir gıda güvenliği açısından önemli bir konumda olan ve enerji verimliliği ile tasarruf ve çevresel fayda sağlayacak olan soğuk hava depolarında yalıtım ve izolasyonun önemi üzerine yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, İklim değişikliği, Soğuk hava deposu, Sürdürülebilirlik.

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

THE IMPORTANCE OF ENERGY EFFICIENCY AND ISOLATION IN COLD STORAGE FACILITIES

Prof. Dr. Havva Eylem POLAT

Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Ankara, Türkiye.

epolat@ankara.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-2159-0666

Res. Assis. Ahmet Cengiz YILDIRIM

Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Ankara, Türkiye.

acyildirim@ankara.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-1049-437X

ABSTRACT

Sustainable food supply and security are extremely important issues for ensuring the continuous and balanced nutrition of the population. The agricultural sector must continue production while meeting increasing demand on the one hand and under the negative pressure of climate change on the other. The preservation of produced goods is a crucial issue. This is because during harvest seasons, the quantity of goods may exceed demand. On the other hand, with changing consumption habits, it is now necessary to ensure continuity in food products. At this point, product storage structures come to the fore. Storage structures must provide the desired environmental conditions in the interior to preserve products optimally, while also performing this task in an energy-efficient manner. Energy efficiency is important for all countries. With the growing population and advancing technology worldwide, the demand for energy is increasing day by day. While electricity consumption in our country reached 353.6 TWh in 2024, this amount is expected to be 455.3 TWh in 2030 and 510.5 TWh in 2035. In the design of warehouses, the right choice of materials and well-planned climate control systems ensure that stored products can be preserved for a long time and that energy is used efficiently, avoiding waste.

This study examines research conducted on the importance of insulation and isolation in cold storage facilities, which are crucial for sustainable food safety and offer energy efficiency, savings, and environmental benefits.

Keywords: Energy efficiency, Climate change, Cold storage, Sustainability.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artışı ile gıdaya olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Nüfusun devamlı ve dengeli beslenebilmesi için sürdürülebilir gıda tedariki ve güvenliği son derece önemli bir konudur. 2050 yılında nüfusun yaklaşık 10 milyar olması beklenirken tarımsal ürünlere olan talebin ise 2013 yılına göre %50 civarında artacağı düşünülmektedir (Anonim 2017). Öte yandan kırsal nüfus azalırken kentleşme ve kent nüfusu devamlı olarak artış halindedir. 1950 yılında toplam dünya nüfusu 2.54 milyarken kentsel nüfus 0.75 milyar ve kırsal nüfus 1.79 milyardı. 2050 yılına gelindiğinde ise kent nüfusunun 6.68 milyar olması beklenirken kırsal nüfusun 3.09 milyar olması beklenmektedir (Anonim 2019). Yani nüfusun önemli bir kısmı gelecekte kentlerde yer alacaktır. Tarım sektöründe üretimi zorlayan bir diğer unsur ise iklim değişikliğidir. Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkileri ve azalan su kaynakları tarım sektörünü zorlu bir durumla karşı karşıya bırakmaktadır. Fakat tarım sektörü önemli miktarda karbon emisyonu oluşturan sektörler arasındadır. Tarım sektörü bir yandan artan talebi karşılarken öte yandan iklim değişikliğinin olumsuz baskısı altında üretime devam etmek zorundadır. Tüm bu koşullar göz önünde bulundurulduğunda gıda güvenliğini sağlamak gün geçtikçe önemli bir konu olmaktadır. Tüm dünyada yıllık olarak üretilen gıdanın yaklaşık olarak 1.3 milyar tonu israf olmaktadır. Bu durum aynı zamanda toprak, su, enerji ve diğer tarımsal kaynakların da israf olmasına neden olmaktadır. Ekonomik kayıplara ek olarak atmosfere daha fazla karbon salımına da sebep olmaktadır (Anonim 2011). Diğer taraftan insanoğlunun değişen tüketim alışkanlıkları ile artık gıda ürünlerinde bir süreklilik sağlanması gerekmektedir. Bu sebeple üretilen ürünlerin muhafazası gıda sürdürülebilirliği açısından oldukça önemli bir konudur. Çünkü hasat dönemlerinde talep edilenden daha fazla ürün miktarı söz konusu olabilir. Hasat sonrasında ürünlerin dikkatli bir şekilde yönetimi ve muhafazası çiftçi gelirini arttırmak ve gıda güvenliğini sağlamak için kritik bir öneme sahiptir (Chakraborty 2020).

2. SOĞUK HAVA DEPOLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ve İZOLASYON

Küresel iklim değişikliği ile beraber artan sıcaklıklardan dolayı soğuk hava depolarında soğutma ve iç ortamdaki soğuk havayı koruma ihtiyacı da artmıştır. Bu durum geçmişe kıyasla gelecekte daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacağını göstermektedir. Diğer taraftan enerji üretimi esnasında atmosfere önemli miktarlarda karbon salımı gerçekleşmektedir. Enerjiyi verimli kullanmak giderek önemli bir konu olmaktadır. Artan teknoloji ve

ihtiyaçlar tüketilen enerji miktarını arttırmıştır. Ülkemizde elektrik enerjisi tüketimi 2024 yılında 353,6 TWh olarak gerçekleşirken bu miktarın 2030 yılında 455,3 TWh ve 2035 yılında 510,5 TWH olması beklenmektedir (Anonim2025a). Enerji fiyatlarında zaman içerisinde artış eğilimi söz konusudur. Artış eğilimi ve buna bağlı oluşan maliyetler ile tüketiciler alternatif enerji kaynaklarına ve mevcut tesislerin enerji tüketimini azalmaya yönelmektedir (Girip vd. 2021). Ülkemizde farklı tiplerde olmak üzere birçok soğuk hava deposu mevcuttur. Bulundukları bölgeye göre depolanan ürünlere göre iç ortamda istenen sıcaklık değerleri ve soğutma ihtiyacı da değişmektedir. Bundan dolayı soğuk hava depolarının enerji sarfiyatları yöreden yöreye değişkenlik gösterebilir. Özellikle sıcak iklime sahip yörelerde soğutulması gereken hava hacminin artması nedeniyle önemli miktarda enerji tüketir (Batiha vd. 2019). Soğuk hava depoları yıllık ortalama 25 kWh elektrik enerjisi ve 9200 Btu doğal gaz tüketir. Soğutma sistemleri toplam elektrik kullanımının %70'inden fazlasını oluşturmaktadır (Anonim2025b). Tüketilen enerji miktarını yapı elemanlarında yalıtım yapılması azaltabilir (Küçüktopçu vd. 2022). Yapı elemanlarında ısı kayıp ve kazançlarının bilinmesi oldukça önemlidir. İç ortamda soğuk havayı saklı tutmak ve ısı kazancı olmaması önemli bir faktördür. Soğuk hava depolarının iç ortamında duvarlar, çatı ve aydınlatma, soğutulan ürünlerden, sızıntıdan ve insanlardan kaynaklı ısı kazançları meydana gelir. Bunlar arasında en fazla ısı kazancı ise duvarlarda gerçekleşmektedir (Kürekçi 2020). Bu sebeple soğuk hava depolarında yalıtım malzemesinin ideal kalınlığı belirlenmelidir. Soğuk hava depolarında izolasyonu sağlamak ve enerji maliyetlerini düşürmenin en iyi yollarından birisi dış duvarlarda ideal kalınlıkta yalıtım malzemesi kullanmaktır. Böylece dış duvarlarda ısı hareketi azalır ve enerji maliyeti azalır (Keçebaş ve Kayveci 2010). Son dönemde yaşanan teknolojik gelişmeler ile iç ortama ilişkin değerler takip edilebilmektedir. Özellikle mevcut teknolojiye entegre olan yapay zeka destekli sistemler önemli faydalar sağlamaktadır. Soğuk hava depolarında yapay zeka destekli kontrol ve iklimlendirme sistemleri ile sıcaklık, sızdırmazlık gibi önemli unsurlar takip edilebilmektedir. Bu sistemlerin kullanıldığı depolarda ısı kaybı %26.7 azalırken enerji verimliliğinin %16.7 arttığı ve iç ortam havasındaki sıcaklık dalgalanmalarının %37.8 azaldığı belirtilmiştir (Li vd. 2025).

3. SONUÇ

Günümüzde artan nüfusun gıda talebini karşılamak gün geçtikçe daha zor bir konu olmaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkileri tarım sektörünü her geçen gün daha da

zorlamaktadır. Değişen tüketim alışkanlıkları ve gıda güvenliği sürdürülebilir gıda yönetimi mecburi bir hale getirmiştir. Soğuk hava depoları tarımsal ürünlerin bozulmadan korunması bakımın önemli bir rol oynamaktadır. İyi planlamış, yalıtımı uygun olan depolar enerji verimliliği açısından uygun koşullarda depolama yapacaktır. Gelişen teknolojinin entegre olması ile birlikte depolarda daha kontrollü bir ortamda ürünler saklanırken enerjiden de önemli ölçüde tasarruf edilmiş olacaktır. Enerjinin verimli kullanılması ile atmosfere salınan karbon miktarı azalacak, sürdürülebilir üretim ve depolama yapılabilecektir.

4. KAYNAKÇA

Anonim 2011. FAO. 2011. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome

Anonim 2017. FAO. 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.

Anonim 2019. United Nations Department of Economic and Social Affairs. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision , pp 9-31. 2019. DOI: https://doi.org/10.18356/cd4eece8-en

Anonim 2025a. Web Sitesi: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik. Erişim Tarihi: 21.12.2025.

Anonim 2025b. Web Sitesi: https://nayaenergy.com/cold-storage-increasing-energy-efficiency/. Erişim Tarihi: 21.12.2025.

Batiha, M. A., Marachli, A. A., Rawadieh, S. E., Altarawneh, I. S., Al-Makhadmeh, L. A., & Batiha, M. M. (2019). A study on optimum insulation thickness of cold storage walls in all climate zones of Jordan. *Case Studies in Thermal Engineering*, *15*, 100538.

Chakraborty, M. (2020). Cold storage in India: challenges and prospects. *Agriculture & Food: E-Newsletter*, *2*(10), 458-460.

Girip, A., Calotă, R., & Ilie, A. (2021). Aspects regarding the optimal insulation thickness, the cost and energy savings for cold storage in Romania. *Applied Sciences*, *11*(23), 11455.

Kecebas, A., & Kayfeci, M. (2010). Effect on optimum insulation thickness, cost and saving of storage design temperature in cold storage in Turkey. *Energy Educ Sci Technol Part A*, *25*(1–2), 117-127.

Küçüktopcu, E., Cemek, B., & Simsek, H. (2022). Application of Spatial Analysis to Determine the Effect of Insulation Thickness on Energy Efficiency and Cost Savings for Cold Storage. Processes, 10(11), 2393. https://doi.org/10.3390/pr10112393

Kürekci, N. A. (2020). Optimum insulation thickness for cold storage walls: Case study for Turkey. *Journal of Thermal Engineering*, *6*(5), 873-887.

Li, D., Li, T., Xiao, D., Jiang, Y., & Li, J. (2025). Performance Optimization of Cold Storage Insulation Materials Integrating Artificial Intelligence. In Proceedings of the 3rd International Conference on Futuristic Technology – Volume 1: INCOFT. ISBN: 9778-989-758-763-4. Pages: 109-115. DOI: 10.5220/0013536300004664

YENİLENEBİLİR ENERJİNİN TARIMSAL ÜRETİMDEKİ YERİ

Prof.Dr. Havva Eylem POLAT
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara, Türkiye
epolat@ankara.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2159-0666

Araş.Gör. Ahmet Cengiz YILDIRIM
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara, Türkiye
acyildirim@ankara.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1049-437X

ÖZET

Dünyada fosil yakıtların çevre kirliliğine neden olması ve bu kaynakların sınırlı bir duruma gelmesi nedeniyle yenilenebilir enerjilerin kullanım olanakları ve yaygınlaştırılması konularında birçok adım atılmaktadır. Özellikle iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılması ve sektörel üretim faaliyetlerinin devamlılığı için yenilenebilir enerji daha iyi bir alternatif gibi görünmektedir. İklim koşulları ve fiziksel çevre ile en fazla temasta olan sektörlerden biri olan tarım sektöründe de son yıllarda yenilenebilir enerjilerin kullanılmasına yönelik uygulamalar kendini göstermektedir. Tarım işletmelerinde üretim, işleme, depolama ve ürünlerin pazara iletilmesi aşamalarında en önemli girdi maliyetini enerji giderleri oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji maliyetlerinin düşürülmesi günümüz ekonomik koşullarında önem kazanmaktadır. Girdi maliyetlerinin azaltılması, üretimden elde edilecek gelirin artması anlamına gelmektedir. Sürdürülebilir ve sağlıklı gıda üretimi ile birlikte kırsal çevrenin korunmasında da yenilenebilir enerjilerin kullanılması bir gereklilik olmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda yenilenebilir enerji uygulamaları hız kazanmıştır. Bu çalışmada; güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi başta olmak üzere alternatif enerji kaynaklarının tarımda kullanım alanları, dünyadaki ve Türkiye'deki uygulamalardan örnekler verilerek açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, tarım, yenilenebilir enerji

THE ROLE OF RENEWABLE ENERGY IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Prof.Dr. Havva Eylem POLAT
Ankara University Faculty of Agriculture Department of Agricultural Structures and Irrigation, Ankara, Türkiye
epolat@ankara.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2159-0666

Araş.Gör. Ahmet Cengiz YILDIRIM
Ankara University Faculty of Agriculture Department of Agricultural Structures and Irrigation, Ankara, Türkiye
acyildirim@ankara.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1049-437X

ABSTRACT

In the face of the environmental challenges posed by fossil fuels and the finite nature of these resources, concerted efforts are being made to encourage the utilisation and widespread adoption of renewable energy sources. Renewable energy sources are increasingly regarded as a superior alternative, particularly in terms of mitigating the adverse effects of climate change and ensuring the continuity of sectoral production activities. In recent years, there has been an increase in the number of applications for the use of renewable energy in the agricultural sector, which is one of the sectors most in contact with climatic conditions and the physical environment. Energy costs represent the most significant input cost in agricultural enterprises during the stages of production, processing, storage, and delivery of products to the market. Consequently, the reduction of energy expenditures has assumed significant economic importance in the present circumstances. The reduction of input costs is contingent upon the augmentation of income derived from production. The utilisation of renewable energy sources is imperative for the sustainable and healthy production of food, as well as for the preservation of the rural environment. In recent years, there has been a notable increase in the utilisation of renewable energy sources within our nation. The present study elucidates the domains of application of alternative energy sources in agriculture, with a primary focus on solar energy, geothermal energy and wind energy. Illustrative examples are provided from applications around the world and in Türkiye.

Keywords: Agriculture, geothermal energy, renewable energy solar energy, wind energy

1. GİRİŞ

Dünyada artan nüfus, hızlanan sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte enerjiye olan ihtiyaç her geçen yıl daha da büyümektedir. Bu artışın doğal bir sonucu olarak enerji kaynakları üzerindeki baskı giderek artarken, aynı zamanda fosil yakıt tüketiminin yol açtığı çevresel olumsuzluklar da kritik bir boyuta ulaşmıştır. Karbon salınımının tetiklediği küresel ısınma, ekosistem bozulmaları ve kaynakların tükenme riski, sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişin artık zorunlu olduğunu göstermektedir.

Teknolojinin gelişmesi sanayi, tarım ve hizmet sektörlerindeki enerji gereksinimini de artırmıştır. Fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve artan iklim değişikliği olayları ile mücadele, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmıştır. Tarımsal üretim hem enerjiyi kullanan hem de enerjiyi üreten bir sektör olması nedeniyle bu yenilenebilir enerjinin kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan enerji, sulama ve mekanizasyon (ısıtma, soğutma, aydınlatma, ilaçlama, gübreleme, otomasyon vb.) işlerinde kullanılmaktadır. Bunun yanında ürünlerin işlenmesi, taşınması ve depolanması gibi işlerde de önemli ölçüde enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Enerji, tarımsal üretimde önemli bir girdi unsurudur. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının tarım sektörüne adaptasyonu ekonomik ve çevresel anlamda önemli olmaktadır.

Enerji, üretim maliyetlerinin azaltılması, verimliliğin artırılması ve üreticinin pazar rekabetine ortak olması açısından önemlidir. Ancak, geleneksel fosil yakıtların yoğun kullanımı hem ekonomik maliyetleri artırmakta hem de kırsal alanda doğal kaynakların kirlenmesine yol açmaktadır. Tarım sektöründe enerji gereksiniminin çevreye duyarlı, yerel kaynaklarla ve sürdürülebilir biçimde karşılanması üretimde girdi maliyetlerinde büyük oranda azalma sağlayacaktır.

Doğanın kendi döngüsü içerisinde sürekli olarak yenilenen güneş, rüzgâr, su, jeotermal, hidrojen ve biyokütle gibi kaynaklar, enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Özellikle kırsal alanlarda tarımsal üretimi kolaylaştırarak üreticilerin yaşam kalitesinin de yükselmesini sağlamaktadır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİNİN TARIMSAL ÜRETİMDE KULLANIMI

Tarım sektöründe enerji kullanımı, üretim süreçlerinin tüm aşamalarında önemli bir girdidir. Yenilenebilir enerji sistemleri, tarımda sulama, ısıtma, aydınlatma, atık yönetimi, enerji depolama vb. biçimlerde kullanılabilmektedir.

2.1. Jeotermal Enerji

Jeotermal kaynak, yerkürenin çeşitli derinliklerinde birikmiş halde bulunan ısının oluşturmuş olduğu, sıcaklık değerleri devamlı olarak bölgedeki atmosferik ortalama sıcaklık değerinin üzerinde olan ve çevresindeki normal yerüstü ve yeraltı sularına göre daha fazla çeşitli mineral, tuz ve gaz ihtiva edebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanmaktadır. Jeotermal enerji ise bu kaynaklardan elde edilen dolaylı veya doğrudan her türlü yararlanmayı kapsamaktadır (Zaim ve Çavşi, 2018). Jeotermal enerjinin sera ısıtmasında kullanılması, fosil yakıtların yüksek maliyeti için iyi bir çözüm olmaktadır (Taşkın ve Vardar, 2016). Seralarda üretim yıl boyunca sürdürülebilir hale gelmektedir. Jeotermal enerji ile ısıtılan seralarda üretim maliyetleri de düşmektedir. Jeotermal kaynaklar, balıkçılık, ürün kurutma tesisleri ve topraksız tarım da da kullanılabilmektedir. Jeotermal kaynaklar, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yüksek verimliliğe sahip olmaları nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

2.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, tarımsal üretimde en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji türlerinden biridir. Fotovoltaik sistemler ile elektrik üretimi sağlanmakta; bu enerji sulama sistemlerinde, seralarda aydınlatma ve ısıtma işlemlerinde ve tarımsal üretim tesislerinde kullanılmaktadır.

Sulamada güneş enerjisiyle çalışan pompa sistemleri, özellikle şebekeden uzak kırsal alanlarda çiftçilerin enerjiye erişimini kolaylaştırmakta ve üretim sürekliliğini desteklemektedir (Taşkın ve Vardar, 2016). Ayrıca fotovoltaik sistemlerin bakım maliyetlerinin düşük olması, uzun ömürlü olmaları ve kolay kurulabilir yapıda olmaları da bu teknolojilerin tarımda yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

2.3. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, uygun coğrafi koşullarda türbinlerle elektrik üretimi sağlayan bir yenilenebilir enerji türüdür. Sulama pompalarının çalıştırılmasında, depolama alanlarının havalandırılmasında, elektrikli araçların şarj edilmesinde ve aydınlatma sistemlerinde kullanılabilmektedir. Küçük rüzgâr türbinleri, özellikle tarımsal kooperatifler veya bireysel çiftliklerde ekonomik bir çözüm olabilir. Ancak rüzgâr potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde verimli çalışabildiğinden, kurulmadan önce saha analizi gerektirir. 2025 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam rüzgâr enerjisi kurulu gücü yaklaşık 14.000 MW seviyesine yükselmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalara göre ise Türkiye’nin teknik rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 100.000 MW (100 GW) düzeyindedir. Bu veriler, Türkiye’nin rüzgâr potansiyelinin henüz yalnızca %14– 15’lik bir bölümünün değerlendirilebildiğini göstermektedir.

2.4. Hidroelektrik Enerji

Tarımda kullanılan küçük hidroelektrik sistemler, sulama kanalları veya küçük nehirler üzerine kurulabilmekte ve elektrik üretimi sağlayabilmektedir. Bu sistemler sayesinde sulama altyapısı hem su hem de enerji açısından verimli hale getirilmektedir. Bu sistemler köyler, çiftlikler veya küçük tarımsal tesisler için uygun ve ekonomik olmaktadır.

2.5. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, organik tarımsal atıkların, hayvansal gübrelerin ve orman artıklarının enerjiye dönüştürülmesidir. Bu yöntemle elektrik ve ısı enerjisi elde edilir. Atıkların çevreye olan zararı da en aza indirgenmiş olur. Hayvancılık işletmeleri, biyogaz üretim tesisleri ile enerji ihtiyaçlarını karşılayabilirler. Biyokütle sistemleri, döngüsel ekonomide önemli bir yer tutar. Bir biyogaz tesisinin bir hektar üründen ürettiği enerji, yetiştirme için gereken enerjiyi dört ila altı kat aşmaktadır. 400 kW gücündeki standart bir biyogaz tesisi, aynı büyüklükteki bir fosil enerji santraline kıyasla yılda yaklaşık 1.800 ton CO_2 tasarrufu sağlar (MWM, 2021).

3. YENİLENEBİLİR ENERJİNİN TARIMSAL FAALİYETLERE KATKILARI

Yenilenebilir enerji, tarım politikalarının bileşenlerinden biridir. Geleneksel enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması, girdi maliyetlerinin düşürülmesi ve iklim değişikliği ile mücadelede yenilenebilir enerji sistemlerinin tarım sektörü ile entegrasyonu birçok ülkede ulusal tarım ve enerji politikasıdır. Avrupa Birliği'nin Ortak Tarım Politikası'nda ve Birleşmiş Milletler'in "SKA2 ve SKA7 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarında" tarımda temiz enerjiye geçişe önem verilmektedir. Tarımsal faaliyetler, doğrudan ve dolaylı olarak küresel sera gazı emisyonlarının %10-12'sini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri sayesinde fosil yakıt tüketimi azaltılarak karbon ayak izi düşürülmekte, özellikle güneş ve biyogaz sistemleri ile enerji üretiminde sıfır emisyon hedefine yaklaşılmaktadır. Güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemleri ve biyogaz üretimi gibi uygulamalar sayesinde, bu emisyonların önemli ölçüde azaltılması mümkündür (IPCC, 2021). Biyogaz üretimi sonrası elde edilen arıtma çamuru, organik gübre olarak toprağa verilerek kimyasal gübre kullanımı azaltılmaktadır. Hayvansal gübre, bitkisel artıklar ve tarımsal organik atıklar biyogaz tesislerinde enerjiye çevrilerek hem atık sorunu ortadan kaldırılmakta hem de çevre dostu enerji elde edilmektedir.

Enerjiye güvenli ve sürekli erişim, kırsal alanda yaşayan halkın yaşam kalitesini ve tarımsal verimliliği artırarak sosyal refah düzeyine katkıda bulunmaktadır. Özellikle genç üreticilerin kırsalda kalma motivasyonuna da katkı sağlamaktadır.

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMININ GELİŞTİRİLMESİ GEREKEN YÖNLERİ

Yenilenebilir enerji sistemlerinin tarımda kullanımı, özellikle çiftçiler, küçük ve orta ölçekli işletmeler için önemli bir ilk yatırım maliyeti gibi görünmektedir. Özellikle teşvik ve kredi imkânlarının sağlanması tarımsal üretimde sürdürülebilirlik için önemli olmaktadır. Çoğunlukla kırsal alanlarda yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu ve bakımı konusunda yeterli teknik personel bulunmamaktadır. Çiftçilere yönelik teknik eğitimlerin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji sistemleri iklimsel koşullara bağlıdır. Bu nedenle enerji sistemlerinin tasarımında en uygun yer seçimi önemlidir. Tarımsal üretim işlemlerinde yararlanılabilecek alternatif enerji teknolojisinin seçimi, gerekli enerjinin çeşidi, alternatif enerji kaynağı, tarımsal yapı ve işlemlerin tasarımına bağlıdır (Atmaca vd., 2014). Yenilenebilir enerji sistemlerinin verimli bir biçimde gerçekleşebilmesi için detaylı çalışmalar yapılmalı, teknik eğitim, uygun yer seçimi ve çevresel etki analizleri yapılmalıdır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Güneş enerjisi destekli sulama sistemlerinden, biyogaz üretimiyle enerji elde edilen çiftliklere, jeotermal kaynaklarla ısıtılan seralardan, atık suyun arıtılarak yeniden kullanıldığı projelere kadar pek çok yenilenebilir enerji uygulamaları hem ekonomik hem de teknik yönden birçok yarar sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaştırılması ve verimli kullanılabilmesi için destek ve hibe içeren teşviklerin artırılması gerekmektedir. Kapasite geliştirme ve teknik eğitim çiftçilerin uygulamada bilgi düzeyinin artırılmasında önemli bir rol oynar. Ar-Ge ve yerli teknoloji desteklenmelidir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin dijital olarak izlenmesi, verilerin sürekli toplanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bölgelere uygun olarak yenilenebilir enerji sistemleri seçilmelidir. Tarım sektöründe enerjiyi verimli kullanmak ve sürdürülebilir, sağlıklı bir çevreyi oluşturmak için yenilenebilir enerjilerin kullanılması bir zorunluluktur.

KAYNAKÇA

1. Atmaca, M., Yusufoğlu, G. ve Kurtuluş, A. (2014). Güneş enerjili sulamanın tarım sektöründe uygulaması. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(2), 142-153.
2. Birleşmiş Milletler Dünya Su Kalkınma Raporu. (2021). (Erişim Tarihi: 19.12.2025)
3. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2020). Toprak Su Kaynakları. URL: https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754 (Erişim Tarihi: 19.12.2025)
4. IPCC 6. Değerlendirme Raporu, 2021. (Erişim Tarihi: 19.12.2025)
5. MWM. (2021). Biogas Plants and Wildflower Fields for Sustainable, Green Energy Generation: MWM Supports Biodiversity Week of the German Biogas Association.
6. Öztürk, H. H. (2006). Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı.

7. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2021). Kırsal Kalkınma Destekleri Kapsamında Bireysel Sulama Sistemlerinin Desteklenmesi Hakkında Tebliğ (Tebliğ No: 2021/7)
8. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2022). Tarımsal Üretimde "Jeotermal Seracılık" Seferberliği
9. Taşkın, O. ve Vardar, A. (2016). Tarımsal üretimde bazı yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(1), 179-184.

MUKAVEMETİ GÜÇLENDİRİLMİŞ İLETKENLİ, 31.5 MVA 33/11.5 KV TRANSFORMATÖR TASARIMI , PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ

Kübra Örnek KOCABEY
Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş.
kubra@betaenerji.com

Meltem SELEK
Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş.
meltem.selek@betaenerji.com

ÖZET

Bu proje kapsamında, 31.5 MVA 33/11.5 kV kapasiteli güç transformatöründe kullanılan iletkenlerin performansını artırmak amacıyla epoksi kaplı iletken teknolojisi uygulanmıştır. Geleneksel kâğıt yalıtımlı iletkenlerin dielektrik dayanımı, termal kararlılığı ve mekanik dayanımı belirli sınırlamalara sahiptir. Epoksi kaplı iletkenler ise yüksek dielektrik dayanımı, düşük dielektrik kayıpları, üstün mekanik direnç, nem ve kimyasal etkilere karşı yüksek koruma sağlaması sebebiyle modern transformatör tasarımları için önemli avantajlar sunmaktadır. Bu proje, söz konusu iletkenlerin transformatör tasarımına entegrasyonu ile daha verimli, güvenilir ve uzun ömürlü bir ürün geliştirmeyi amaçlamaktadır.Proje kapsamında iletken sertliği, yalıtım kalınlıkları ve malzeme uyumluluğu dikkate alınarak tasarım optimizasyonu yapılmıştır. Sarım işlemlerinde epoksi malzemenin uç bağlantılarında uygun şekilde işlenmesi ve fırınlama süreçlerinin doğru parametrelerle uygulanması sağlanmıştır. Proje dört iş paketinden oluşmaktadır: literatür ve ön hazırlık, elektriksel–termal–mekanik tasarım, prototip imalatı ve kapsamlı test süreçleri. Tasarım aşamasında optimize edilmiş çekirdek yapısı, gelişmiş soğutma kanalları ve daha yüksek verimli kuğu tipi radyatörler kullanılmıştır. Mekanik tasarımda ise yağ hacminin azaltıldığı kompakt kazan yapısı ve geliştirilmiş nüve sabitleme sistemi uygulanmıştır.Prototip ürün IEC standartlarına uygun rutin, tip ve özel testlere tabi tutulacaktır. Proje sonucunda; artırılmış verimlilik, azaltılmış enerji kayıpları, yükseltilmiş kısa devre dayanımı, düşük bakım ihtiyacı ve daha uzun transformatör ömrü gibi önemli kazanımlar elde edilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Epoksi Kaplı İletkenler, Güç Transformatörü Tasarımı, Termal ve Dielektrik Performans

Mineral ve Kayaçların Toprakla İlişkisi

Yüksek Lisans Öğrencisi Naci Kubilay DONİ

Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü,

kubilay_doni@hotmail.com - ORCID ID:0009-0002-9843-9638

Prof. Dr. Salih AYDEMİR

Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü,

salihaydemir@harran.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-3236-8438

ÖZET

Mineraller, doğada bulunan, yerkabuğunun temel yapı taşlarını oluşturan, belirli bir kimyasal element ve bileşiklerden oluşan, homojen ve belli bir kimya formülü olan kristalli yapıda, genellikle katı ve inorganik cisimlerdir. Yer kabuğunda bulunan mineraller, fiziksel özellikleriyle de kendini gösteren belirli termodinamik ve fizikokimyasal koşullar altında oluşur. Her mineralin kendine özgü element bileşimi vardır. Bir mineral kimyasal formülle tanımlanabilir. Mineraller bir veya birkaç elementten meydana gelirler. Dünyada, 104 element; yerkabuğunun kimyasal bileşiminde ise 93 element varlığı bilinmesine rağmen, yerkabuğunun yaklaşık %96'sı 8 elementten (O %46,6, Sİ %27,72, Al %8,13, Fe %5.00, Ca, %3,63, Na %2,83, K %2,60, Mg %2,08) meydana gelmektedir. Yerkabuğunda, O (anyon) ve Si (katyon) en bol bulunan elementler olduğu için silikat mineralleri grubu doğadaki en yaygın mineral grubunu oluşturmaktadır.

Mineraller, genellikle kristal yapı, parlaklık, sertlik, çizgi rengi ve dilinim (kırılma) ve yoğunluk gibi karakteristik fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılır ve karakterize edilir. Mineraller, anyon yüklerine göre silikatler, oksitler, sülfitler, karbonatlar, fosfatlar, evaporitler, halitler, sülfatlar ve doğal elementler diye sınıflandırırlar. Mineraller, kayaçların yapıtaşı olarak ana bileşenleridir ve kayaçların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirler. Kayaçlar, bir veya birden fazla mineralin birleşmesi sonucu meydana gelir. Mineraller, silikat eriyiklerinin soğumasından sulu çözeltilerden çökelmeye kadar çeşitli jeolojik koşullar altında kristalleşirler. Magmatik, tortul ve metamorfik olmak üzere 3 kayaç türü mevcuttur. Toprak oluşumu, ana kayaç ve minerallerin ayrışmasıyla oluşan ve zamanla organik madde, su, hava ve canlı birikimiyle gelişir.

Sonuç olarak, yer kabuğu; mineraller, minerallerin oluşturduğu kayaçlar ve kayaçların oluşturduğu topraktan meydana gelir. Mineraller, kayaçların yapıtaşı, kayaçlar da toprak oluşumunun (pedogenezin) ana kaynağıdır. Kil minerallerinin mekansal ve zamansal dağılımının paleoçevresel ve paleoklimatik koşulları anlamak için değeri artan önemli bir parametre olarak yer almaktadır. Ayrıca iklim değişikliğinin hassas ve güvenilir göstergeleri olarak kil minerallerinin kullanılabileceği vurgulanmıştır. Paleoçevresel, paleoklimatik, iklim değişikliğinin hassas ve güvenilir göstergesi; sürdürülebilir tarımın sağlanması, tarımsal verimliliğin artırılması, ekonomik kazancın elde edilmesi konularında önemli bir belirteç olan minerallerin analizi önem arz etmektedir. Minerallerin sistematik sınıflandırılması, sadece

jeolojik tanımlama için değil, aynı zamanda hammadde olarak endüstriyel ve ekonomik potansiyellerini değerlendirmek için de önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Mineral, kayaç, toprak

Abstract

The Relationship Between Minerals, Rocks, and Soil

Minerals are defined as a naturally occuring, crystalline substance, generally solid inorganic substance with a specific chemical composition, constituting the fundamental building blocks of the Earth's crust. Minerals form under well-defined thermodynamic and physicochemical conditions, which are reflected in their characteristic physical and chemical properties They are composed of specific chemical one or more elements, found as homogeneous in nature, and possess a definite chemical composition that can be expressed by a chemical formula. Despite the existence of 104 naturally occurring elements worldwide, with 93 present in the Earth's crust, approximately 96% of the crustal composition is dominated by merely eight specific elements: O (46.6%), Si (27.72%), Al (8.13%), Fe (5.00%), Ca (3.63%), Na (2.83%), K (2.60%), and Mg (2.08%). Since oxygen (as an anion) and silicon (as a cation) are the most abundant elements within the Earth's crust, the silicate mineral group constitutes the most prevalent mineral class in nature. The classification and characterization of minerals are typically based on their diagnostic physical attributes, including crystalline form, luster, hardness, streak color, cleavage or fracture, and specific gravity. Based on their predominant anion or anionic complex, minerals are categorized into several chemical classes, including silicates, oxides, sulfides, carbonates, phosphates, evaporites, halides, sulfates, and native elements. Minerals are the fundamental building blocks and primary constituents of rocks, determining their physical and chemical properties. Rocks are formed through the aggregation of one or more minerals. Mineral crystallization occurs under a variety of geological settings, encompassing processes from the solidification of silicate magmas to chemical precipitation within aqueous solutions. Rocks are categorized into three main types: igneous, sedimentary, and metamorphic. Soil originates from the disintegration of parent materials and minerals, further developing through the integration of organic matter, moisture, gases, and biological activity over time. Consequently, the Earth's crust is composed of minerals, rocks formed by these minerals, and soil derived from those rocks. Minerals constitute the fundamental units of rocks, while rocks serve as the parent material for pedogenesis (soil formation). The spatial and temporal distribution of clay minerals represents an increasingly important parameter for understanding paleoenvironmental and paleoclimatic conditions. In addition, the use of clay minerals as highly sensitive and robust proxies for climate change has been highlighted. Mineral analysis remains a crucial indicator for reconstructing paleoenvironmental and paleoclimatic settings; furthermore, it is essential for fostering sustainable agriculture, enhancing crop yields, and securing economic growth. The XRD, XRF, and SEM-EDX are used the most robust methodology for determining the mineralogical and geochemical properties of geological samples including soils and rocks, ensuring both accuracy and scientific depth.The systematic

classification of minerals is fundamental not only for geological identification but also for evaluating their industrial and economic potential as raw materials.

Key words: Mineral, rock, soil

Element	Ağırlık % si
Oksijen	46,6
Silisyum	27,72
Aluminyum	8,13
Demir	5,00
Kalsiyum	3,63
Sodyum	2,83
Potasyum	2,60
Magnezyum	2,08

Kaynakça

Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, *12*(2), 205.

Amangul, K., Gulnara, Q., Gulbahar, T., & Guljan, B. (2025). CHEMICAL COMPOSITION OF MINERALS AND CLASSIFICATION. *Sciental Journal of Education Humanities and Social Sciences*. https://doi.org/10.62536/sjehss.2025.v3.i2.pp54-57

Cardarelli, F. (2000). Rocks and Meteorites. 479–508. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3648-4_12

Gündüz, M., & Asan, K. (2022). MagMin_PT: An Excel-based mineral classification and geothermobarometry program for magmatic rocks. *Mineralogical Magazine*, *87*, 1–9. https://doi.org/10.1180/mgm.2022.113

Harris, W., & Norman White, G. (2008). X-ray Diffraction Techniques for Soil Mineral Identification. In *Methods of Soil Analysis Part 5—Mineralogical Methods* (pp. 81–115). https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssabookser5.5.c4

Mukherjee, S. (2013). Classification and Composition of Clay Constituents. In S. Mukherjee (Ed.), *The Science of Clays: Applications in Industry, Engineering and Environment* (pp. 23–32). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6683-9_2

OPCC. *Elements in the Earth's crust*. https://www.products.pcc.eu/en/academy/elements-in-the-earths-crust/

Osman, K. (2013). Rocks, Minerals, and Soils. 1–17. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02541-4_1

<soil_minerals_harris.pdf>.

ANTALYA İLİ VE ÇEVRESİNDE YETİŞTİRİLEN MUZ ÜRETİM ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN PATOJENLER

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[1]

[1]Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr, 0000-0002-8059-3680

Prof. Dr. Esin BASIM[2]

[2]Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Programı, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr 0000-0001-9188-6609

ÖZET

Muz, tropik ve subtropik alanlarda yetiştirilen önemli bir üründür. Ülkemizde Akdeniz bölgesi sahil şeridinde muz yetiştiriciliği yapılmakta ve her geçen gün üretim alanı artmaktadır. Üretim sırasında muz verimini etkileyen farklı hastalık etmenleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, Antalya ili ve çevresindeki muz üretim alanlarında görülen hastalıklı bitki örneklerinden izolasyonlar yapılmış ve muzlarda hastalık oluşturan farklı patojenlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, muz yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı üretim alanlarına 2024-2025 yılları arasında sörveyler yapılmış ve hastalık belirtisi gösteren kök, yaprak ve meyveler toplanarak laboratuvara getirilmiş ve hastalıklı bitki materyallerinden izolasyonlar yapılmıştır. İzolasyonlar sonucunda patojenler olarak *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Colletotrichum* spp., *Rhizoctonia* sp., *Mycosphaerella* spp. belirlenmiştir. Hastalık etmenlerinden en fazla hastalık oranı ile *Pectobacterium* carotovorum subsp. *carotovorum* ve *Mycosphaerella* spp. tespit edilmiştir. Ayrıca meyveler üzerinde sekonder hastalık etmeni patojenlerden *Penicillium* spp., *Alternaria alternata* ve *Aspergillus* spp. izole edilmiştir. Antalya ili ve çevresinde tespit edilen hastalık etmenlerinin çok görülmesinin sebepleri arasında sera içi hastalık kontrolüne yönelik hijyen kurallarına yeterince uyulmaması ve sera içi nemin yüksek olması, sulama suyunun kirliliği gibi kültürel koşullara bağlayabiliriz.

Anahtar Kelimeler: Muz, *Musa* spp., Muz Hastalıkları, Antalya

DETERMINATION OF PATHOGENS IN BANANA PRODUCTION AREAS SURROUNDING ANTALYA PROVINCE

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[1]

[1]Akdeniz University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, Antalya,
hbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0002-8059-3680

Prof. Dr. Esin BASIM[2]

[2]Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Organic Agriculture, Antalya,
esinbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0001-9188-6609

ABSTRACT

Bananas are a vital crop grown in tropical and subtropical regions. In Turkey, banana cultivation occurs along the Mediterranean coast, with the cultivation area increasing daily. During banana production, various disease agents impact yield. This study aimed to identify different pathogens causing disease in bananas by isolating samples from diseased plants in banana-growing areas around Antalya province. Surveys were conducted in areas with intensive banana cultivation between 2024-2025, collecting roots, leaves, and fruits showing disease symptoms for laboratory analysis, where isolations were made from the affected plant materials. As a result, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Colletotrichum* spp., *Rhizoctonia* sp., and *Mycosphaerella* spp. were identified as pathogens. *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and *Mycosphaerella* spp. showed the highest disease incidence among the pathogens. Additionally, secondary disease-causing pathogens, including *Penicillium* spp., *Alternaria alternata*, and *Aspergillus* spp., were isolated from the fruits. The widespread presence of these disease agents in Antalya and neighboring areas may be linked to cultural practices such as poor hygiene in greenhouse disease control, high greenhouse humidity, and water contamination.

Key Words: Banana, *Musa* spp., Banana Diseases, Antalya

1.GİRİŞ

Antalya ili, sahip olduğu toprak yapısı, zengin su kaynakları ve iklimsel özelliklerinin çeşitliliği nedeniyle birçok tropik ve subtropik meyvenin kaliteli olarak yetişmesine olanak sağlayacak son derece uygun ekosistemlere sahiptir. Dünyada yetişen meyve türlerinin önemli bir kısmı

Antalya ilinde üretilmektedir. Antalya ilinde en fazla üretilen meyveler içerisinde, toplam üretimde portakal birinci sırada yer almakta olup, bunu sırasıyla elma, zeytin, nar, muz, limon, armut ve nar takip etmektedir (Baka, 2010). Ülkemizde Gazipaşa, Alanya, Anamur, Bozyazı, Silifke, Erdemli, İskenderun çevresinde, yoğun olarak muz üretimi yapılmaktadır. Türkiye 369 009 tonluk muz üretimi ile Dünya'da 30. sırada yer almaktadır (FAO, 2019). 2019 yılı verilerine göre, Türkiye muz üretiminde Mersin ili 39 699 dekar alandan gerçekleştirdiği 253 728 ton ile ülkemiz muz üretiminin % 68.76'sını tek başına karşılamaktadır (Tüik, 2025).

Antalya ili, muz üretimi 875 bin ton olarak gerçekleştirilmiştir (İletişim Başkanlığı, 2025). Türkiye muz üretimi ve pazarlanmasında çeşitli sorunlar mevcuttur. Bunlardan en önemlisi yurt içi muz üretim maliyetlerinin ithal muz üretim maliyetine göre yüksekliğidir. Tüketiciler ise fiyat avantajı ve görüntüsünden dolayı genellikle ithal muzu tercih etmektedir. Bu durum rekabet açısından yurtiçi muz üreticilerini olumsuz etkilemektedir (Subaşı ve ark. 2016).

Muz meyveleri diğer olgun meyveler gibi zengin besin maddelerine sahip olması nedeni ile özellikle nemli ortamlarda mikroorganizmaların saldırısına maruz kalmaktadır (Snowdon, 2010). Açık alanlarda ya da seralarda yapılan muz yetiştiriciliğinde gerek muz meyvelerinde gerekse üretim sırasında ya da derim sırasında, sarartma tesislerinde veya depolama ve taşıma sırasında muz bitkileri patojenlerin saldırılarına maruz kalmaktadır. Hastalık etmenleri ve zararlılar ürün verimliliğini azaltan faktörler arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bunlar arasında muz yetiştiriciliğinde önemli verim kayıplarına yol açmaktadırlar. Bu çalışmanın amacı ise Antalya ili ve çevresinde muz üretim alanlarında ortaya çıkan hastalık etmenlerinin belirlenmesidir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Antalya ili ve çevresindeki muz üretim alanlarında görülen hastalıklı bitki örneklerinden izolasyonlar yapılmış ve muzlarda hastalık oluşturan farklı patojenlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, muz yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı üretim alanlarına 2024-2025 yılları arasında sörveyler yapılmış ve hastalık belirtisi gösteren kök, yaprak ve meyveler toplanarak laboratuvara getirilmiş ve hastalıklı bitki materyallerinden izolasyonlar yapılmıştır. Fungus izolasyonlarında Patates Dextrose Agar (PDA) besi ortamı kullanılmıştır. Sörveylerde çürüklük ve solgunluk belirtisi gösteren ölmek üzere olan bitkiler ve bitki yaprakları, hastalık belirtisi gösteren özellikle de leke ve yanıklık simptomuna sahip olan yaprak örnekleri ile muz meyvelerinde ortaya çıkan renk değişikliği ve çürüme belirtisi gösteren hastalıklı bitkilerden örnekler alınmış ve izolasyonlar yapılmıştır. Hastalıklı dokulardan besi ortamına ekimler yapılıp, petriler 26-27^0 sıcaklıkta inkubasyona bırakılarak her gün kontrol edilmiştir. Petrilerde gelişen fungal kültürlerden saflaştırmalar yapılarak tek spor izolasyonu yapılmıştır. Benzer koloniyal gelişim gösteren kültürler saf olarak değerlendirilerek mikroskobik olarak tanıları yapılmıştır. Saf olarak gelişimleri sağlanan fungal kültürlerin cins ve tür düzeyindeki tanımlarında mikroskobik özellikleri dikkate alınmış ve Booth (1971), Barnett ve Hunter (1972), Domsch ve ark. (1980)'dan yararlanılarak tanılamalar gerçekleştirilmiştir. Bakterilerin izolasyonunda ise Nutrient Agar (NA) besi ortamı kullanılmıştır. Bu amaçla hastalıklı örneklerden izolasyonlar yapılmıştır. Örnekler önce %70 etanol ile yüzey sterilizasyonu yapılmış ve ardından üç kez sterilize edilmiş damıtılmış suda yıkanmıştır. Örnekler 1000 µL sterilize edilmiş damıtılmış su içeren bir effendorf tüplere konularak, homojen bir karışım oluşana kadar sterilize edilmiş

plastik çubuklarla ezilmiştir. Ezilen bu sıvı süspansiyondan öze ile alınarak Nutrient Agar (NA) (Merck) besi ortamlarına yayılmıştır. Gelişen bakteri kolonilerinden tek koloni çizimi yapılarak saflaştırılmıştır. 27 °C'de 48 saatlik inkübasyondan sonra yuvarlak, kremimsi, parlak, dışbükey ve mukoid koloniler seçilmiştir. Tanılamalar Schaad ve ark. (2001)' a göre yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2024-2025 yılları arasında Antalya ilinde muz üretiminin yapıldığı Merkez, Serik, Manavgat, Gazipaşa, Alanya'daki muz üretim alanlarından hastalık belirtisi gösteren hastalıklı muz örnekleri toplanmıştır (Çizelge 1 ve Çizelge 2).

Çizelge 1. Antalya ili muz üretim alanlarından alınan örnek sayıları

Örneklerin alındığı yerler	Hastalıklı örnek sayısı (Adet)	Örneklerin alındığı arazi sayısı (Adet)
Merkez	15	8
Serik	10	7
Manavgat	10	10
Gazipaşa	25	30
Alanya	40	45
Toplam	100	100

Çizelge 2. Antalya ili ve çevresinden elde edilen hastalıklı muz örnekleri ve yerlerine ait bilgiler

Örnek Alanları	Hastalıklı bitki materyalleri	Örnek sayısı (Adet)
Merkez	Yaprak, meyve, gövde	15
Serik	Yaprak, meyve,gövde, kök	10
Manavgat	Yaprak, meyve, gövde	10
Gazipaşa	Yaprak, kök, meyve gövde	25
Alanya	Yaprak, meyve, gövde	40
Toplam		100

İncelenen muz üretim alanlarında belirlenen patojenler *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Colletotrichum* spp., *Rhizoctonia* sp., *Mycosphaerella* spp. olarak belirlenmiştir. Hastalık etmenlerinden en fazla hastalık oranı ile *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* ve *Mycosphaerella* spp. olduğu bulunmuştur (Çizelge 3) Ayrıca meyveler üzerinde sekonder hastalık etmeni patojenlerden *Penicillium* spp., *Alternaria alternata* ve *Aspergillus* spp. izole edilmiştir. Antalya ili ve çevresinde tespit edilen bu hastalık etmenlerinin çok görülmesinin sebepleri arasında sera içi hastalık kontrolüne yönelik hijyen kurallarına yeterince uyulmaması ve sera içi nemin yüksek olması, sulama suyunun kirliliği gibi kültürel koşullara bağlayabiliriz.

Çizelge 3. Antalya ili ve çevresindeki muz alanlarından elde edilen patojenler

Örnek Alanları	İzole edilen Patojenler
Merkez	*Colletotrichum* spp., *Mycosphaerella* spp., *Alternaria* spp.,*Penicillium* spp., *Fusarium* spp.ile *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*
Serik	*Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Thielaviopsis* spp.,, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*
Manavgat	*Mycosphaerella* spp., *Alternaria* spp., *Penicillium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Aspergillus* spp., *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*
Gazipaşa	*Rhizoctonia* spp., *Mycosphaerella* spp., *Alternaria* spp., *Penicillium* spp., ile *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*
Alanya	*Mycosphaerella* spp., *Penicillium* spp., *Thielaviopsis* spp., *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda, Antalya ili ve çevresinde muz üretim alanlarında görülen hastalık etmenleri belirlenmiş ve bu patojenlerden *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* ile *Mycosphaerella* spp.'nın en fazla tespit edilen patojenler olduğu bulunmuştur. Bunun yanında merkezdeki muz alanlarından *Fusarium* spp., Serik ve Alanya'daki muz alanlarından *Thielaviopsis* spp. en az tespit edilen patojenler olmuştur. Muz bitkisinin gövde ve yaprak örneklerinden en çok *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* ile *Mycosphaerella* spp. patojenleri tespit edilirken meyve üzerinde ise en fazla *Penicillium* spp. ve *Aspergillus* spp. sekonder patojenler tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre muz üretim alanlarında görülen bu hastalık etmenlerinin fazla görülmesinin en önemli nedenleri; sera içinde sanitasyon kurallarına yeterince uyulmaması, sera içindeki nemin yüksekliği, bitki kalıntılarının yeterince temizlenmemesi ve sulamada kullanılan suların yeterince temiz olmaması gibi hususlara bağlamak mümkündür. Bu nedenle muz üreticilerinin erken sürede hastalık etmenlerini tespit edip uzaklaştırması ve koruyucu ilaç uygulamaları ile hastalık etmenlerinin yayılmasının engellenmesi önemlidir. Bunun yanında işçilerin üretim alanlarında kullandıkları her türlü alet ve ekipmanların temizliği de kültürel önlemler açısından değerlidir.

KAYNAKLAR

Baka, Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı (Antalya-Isparta-Burdur), (2010). Antalya'da tarım sektörünün sorunları ve çözüm önerileri çalıştayı, Meyvecilik alt sektörü çalışma grubu raporu.Antalya, 65 ss.

Barnett, H. L., Hunter, B. B. (1972). Illustrated genera of imperfect fungi. Third Edition, Burgess Publishing Co., Minneapolis, Minn., 218.

Booth, C. (1971). *Fusarium* laboratory guide to the identification of major species. Common wealth Mycological Inst. Kew. Surrey, England, pp 58.

Domsch, K. H., Gamsand, W., Anderson T. H. (1980). Compendium of soil fungi. Academic Press London. 859 pp.

FAO, (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (Erişim: Aralık 2025).

İletişim Başkanlığı (2025). https://www.iletisim.gov.tr/turkce/yerel_basin/detay/antalyada-muz-sezonu (Erişim: Aralık 2025)

TÜİK, (2025). Türkiye İstatistik Kurumu. https://tuik.gov.tr (Erişim: Aralık 2025)

Schaad, N.W., Jones, J.B., and Chun, W. (2001). Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria. 3th. Revista Mexicana de FITOPATOLOGIA/ 343 ed. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 373 pp.

Subaşı OS, Seçer A, Yaşar B, Emeksiz F, Uysal O (2016). Türkiye'de muz üretim maliyeti ve karlılık durumu. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 29, 73-78.

Snowdon AL (2010) A colour atlas of postharvest diseases and disorders of fruits and vegetables-. Volume 1: General introduction and fruits. Wolfe Scientific, Spain, 302 pp.

ANTALYA İLİ VE ÇEVRESİNDEKİ YEMEKLİK KÜLTÜR MANTARI ÜRETİM ALANLARINDA *Pseudomonas tolaasii*' NİN YAYGINLIK DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ: 2023-2025

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[1]

[1]Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr, 0000-0002-8059-3680

Prof. Dr. Esin BASIM[2]

[2]Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Programı, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr 0000-0001-9188-6609

ÖZET

Bu çalışmada, 2023-2025 yılları arasında Antalya ili Korkuteli ilçesinde yemeklik kültür mantarı üretimi yapan üreticilerin kültür mantarı üretimi sırasında ortaya çıkan bakteriyel leke hastalığı etmeni *Pseudomonas tolaasii* nin yaygınlığı ve bu hastalığa karşı üreticilerin uygulama sorunlarının neler olduğu belirlenmiştir. Tesadüfü olarak seçilen toplam 100 üreticinin mantar üretim alanlarına sörveyler yapılmış ve üreticilerin sorunları yerlerinde tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre üreticilerin hastalık konusunda çoğunun bilgi sahibi olduğu ancak 100 üreticinin sadece 25 tanesinin bitki koruma bilgileri bakımından yeterince bilgiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Üreticilerin çoğunluğu üretim sırasında kullandıkları kompost ve işçilik ücretlerinin, yine üretim sırasında kullandıkları tarımsal ilaç fiyatlarının çok pahalı olmasından şikayetçi olmuşlardır. Bitki Koruma sorunlarının en büyük kısmını üretim alanlarında görülen hastalık ve zararlı etmenleri oluşturmuştur. Üreticilerin hemen hemen hepsi bakteriyel leke hastalığının mücadelesinin zor olduğunu, bu etmenle mücadelede yoğun ilaç kullanmak zorunda kaldıklarını buna rağmen hastalık etmenini baskı altına almakta zorlandıklarını ve hastalığı durduramadıklarını belirtmişlerdir. Üretim alanlarında *P. tolaasi* hastalık etmeni 2023-2024 yılları arasında %55 oranında görülürken 2024-2025 yılları arasında yapılan sörveylerde patojenin yaygınlık oranının %35 düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, üreticilerin büyük çoğunluğunun bitki koruma uygulamaları konusunda özellikle hastalık etmenleri ve zararlılar ile mücadele ve ilaç kullanımı konusunda bilgi eksikliklerinin olduğu, patojen ile mücadele edebilmek için daha fazla ilaç kullandıkları ve ilaçlama sıklığını arttırdıkları belirlenmiştir. Üreticilerin çoğunluğu mücadele sırasında kullandıkları zirai mücadele ürünlerinin pahalı olmasından dolayı daha ucuz olan kimyasalları tercih ettiklerini ve ürünlerini yetiştirirken bu hastalık etmeniyle mücadelede daha fazla emek harcadıklarını ancak ürünlerinin üretim miktarlarının azaldığını ve düşük fiyata ürünlerini pazarladıklarını belirtmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Bakteriyel Leke Hastalığı, *Pseudomonas tolaasii*, Mantar, Korkuteli, Antalya

EVALUATION OF THE PREVALENCE OF *Pseudomonas tolaasii* IN EDIBLE CULTIVATED MUSHROOM PRODUCTION AREAS IN ANTALYA PROVINCE AND ITS SURROUNDINGS: 2023-2025

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[1]

[1]Akdeniz University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, Antalya,
hbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0002-8059-3680

Prof. Dr. Esin BASIM[2]

[2]Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Organic Agriculture, Antalya,
esinbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0001-9188-6609

ABSTRACT

This study examined the prevalence of *Pseudomonas tolaasii*, the bacteria responsible for bacterial blotch disease, among edible mushroom growers in Korkuteli district of Antalya province from 2023 to 2025. It also identified the challenges producers faced in fighting this disease. Surveys were carried out with 100 randomly selected producers in the mushroom production areas, and on-site assessments determined their problems. The results showed that most producers were aware of the disease, but only 25 out of 100 lacked enough knowledge about plant protection. Most producers complained about the high costs of compost and labor, as well as pesticide prices. Diseases and pests were the biggest issues related to plant protection. Nearly all producers said bacterial blotch was hard to control; they had to use heavy pesticide treatments and still struggled to eliminate the pathogen and prevent its spread. Between 2023-2024, the presence of *P. tolaasii* was observed at a rate of 55%, increasing to 35% in surveys from 2024-2025. The study found that many producers lacked sufficient knowledge of plant protection, especially about managing pests and using pesticides. They relied on more frequent and higher doses of pesticides to control the pathogen. Most producers said they preferred cheaper chemicals due to the high cost of pesticides, which led them to put more effort into controlling the disease but resulted in lower crop yields and reduced market prices.

Key Words: Bacterial Blotch Disease, *Pseudomonas tolaasii*, Mushroom, Korkuteli, Antalya

1.GİRİŞ

Mantar, insanların günlük beslenme ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yaygın olarak kullanılan ve tüketilen besinlerden birisidir. Mantarlar tıp ve sağlık alanında da önemli bir ilaç kaynağıdır. Mantarların tıbbi değerleri arasında bağışıklık sistemini güçlendirme, yara iyileştirme ve tümör etkilerini engelleme gibi birçok sağlık faydası yer almaktadır. Dünya alanında en yaygın olarak yetiştirilen mantar şapkalı mantar olarak bilinen *Agaricus bisporus*'tur. Mantarlar, fonksiyonel gıdalar veya sağlık ve yaşam kalitesini artırmak için değerli besin takviyeleri kaynakları olarak kullanılabilir. Taze, konserve, kurutulmuş, dondurulmuş ve hatta toz halinde bile bulunabilirler (Singh ve ark., 2016).

Çeşitli zararlı organizmalar mantarların verimini ve kalitesini etkileyebilir. Bunlar içinde yemeklik kültür mantarı yetiştiriciliğinin farklı aşamalarında görülen farklı hastalıklar bulunmaktadır. Bu hastalık etmenleri *A. bisporus* üretimi sırasında ciddi ekonomik kayıplara neden olabilirler. Bu patojenler, bakteriyel leke (*Pseudomonas tolaasii*) (Lincoln ve ark., 1999), kuru kabarcık (*Verticillium fungicola*) (Largeteau ve Savoie, 2008), örümcek ağı (*Cladobotryum mycophilum*) (McKay vd., 1999) ve ıslak kabarcık (*Mycogone perniciosa*) (Novikova ve Titova, 2023) gibi çeşitli bakteriyel ve fungal hastalık etmenleri olup üreticileri zorluklarla karşı karşıya getirirler. Özellikle *P. tolaasii,* yemeklik mantar üretiminde en baskın veya yıkıcı patojen olarak kabul edilir ve kahverengi leke hastalığına yol açar (Tajalipour ve ark., 2014). Aynı zamanda *P. tolaasii*, tolaasin adı verilen ve 18 amino asitten oluşan bir lipopeptit üretir ve bu lipopeptit ana patojenik toksindir. Mantarın şapkaları üzerinde kahverengi renkli lezyonlara neden olur (Huang ve ark., 2024). Hastalığın kontrolü, kapsamlı sanitasyon ve hijyenin yanı sıra fungisit kullanımına bağlıdır. Fungisit direnci yaygındır (Mehrparvar ve ark., 2013; Staub, 1991). Hastalık mücadele edilmezse fazla ürün kayıplarına neden olabilir (Berendsen ve ark., 2010). Mantar yetiştiriciliğinde genellikle klor (ev tipi çamaşır suyu) gibi dezenfektanlar ve bazı seçici fungisitler kullanılır, ancak bunlar önemli maliyetler gerektirir. Ayrıca, kimyasal kullanımı mantarlarda pestisit kalıntısı riskini artırır ve bunlardan bazılarının kullanımı da yasaktır. İzin verilen kimyasalların çoğu, kolayca direnç oluşturduğu için önemli kültür mantarı hastalıklarını kontrol edememektir. Sentetik fungisitler etkili olsa da, sürekli aynı ilaçların kullanımı doğal düşmanlar tarafından biyolojik kontrolü bozabilmekte ve çeşitli fungisit karışımlarına karşı yaygın direnç gelişmesiyle birlikte hastalık salgınlarına yol açmaktadır (Elad ve ark., 1992). Bu çalışmanın amacı ise 2023-2025 yılları arasında Antalya ili Korkuteli ilçesinde yemeklik kültür mantarı üretimi yapan üreticilerin kültür mantarı üretimi sırasında ortaya çıkan bakteriyel leke hastalığı etmeni *Pseudomonas tolaasii*' nin yaygınlığı ve bu hastalığa karşı üreticilerin uygulama sorunlarının neler olduğu belirlemektir.

2. MATERYAL VE METOT

2023-2024 ve 2024-2025 yılları arasında Korkuteli ilçesi sınırları içindeki Datköy (10), İmrahor (10), Küçükköy (10), Büyükköy (10), Yazır (15), Yelten (15), merkezdeki (30) çeşitli mantar üretim alanlarından, kahverengi leke hastalığı belirtileri gösteren örnekler toplanmıştır. Hastalıklı örnekler etiketlenerek buz torbalarında laboratuvara getirilmiştir. Enfekte olmuş mantar şapkalarından izolasyonlar yapılmıştır. Şapkalara önce %70 etanol ile yüzey sterilizasyonu yapılmış ve ardından üç

kez sterilize edilmiş damıtılmış suda yıkanmıştır. Şapkaların dıştaki kontamine katmanları ve iç nekrotik dokular dikkatlice kesilerek 800 µL sterilize edilmiş damıtılmış su içeren bir efendorf tüplere konularak, homojen bir karışım oluşana kadar sterilize edilmiş plastik havanlarda ezilmiştir. Ezilen bu sıvı süspansiyondan öze ile alınarak Nutrient Agar (NA) (Merck) ve King's B (KB) (Merck) besi ortamlarına yayılmıştır. (Wong ve Preece, 1979; Basım ve Basım, 2018). Bakteri kolonileri, istenen tek kolonilerin taze KB ortamına tekrar yayılmasıyla saflaştırılmıştır. Saflaştırılan koloniler, daha sonra kullanılmak üzere -80ºC'de saklama ortamında (%30 gliserol içeren Nutrient Broth besi ortamında) saklanmıştır *P. tolaasii'* nin tanımlanması Basım ve Basım (2018)' a göre yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2024-2025 yılları arasında Antalya ili Korkuteli ilçesi Merkez, Datköy, İmrahor, Küçükköy, Büyükköy, Yazır ve Yelten'deki mantar üretim alanlarından bakteriyel leke hastalık belirtisi gösteren hastalıklı mantar örnekleri toplanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Antalya ili Korkuteli ilçesi mantar üretim alanlarından alınan *P. tolaasii* ile bulaşık hastalıklı mantar örnek sayıları ve hastalık oranları (%)

Örneklerin alındığı yerler	**Örneklerin alındığı mantarhane sayısı (Adet)**	**Alınan örnek sayısı/Hastalıklı örnek sayısı (Adet) 2023-2024**	**Alınan örnek sayısı/Hastalıklı örnek sayısı (Adet) 2024-2025**
Merkez	30	50/28	40/16
Datköy	10	15/10	10/5
İmrahor	10	10/8	8/4
Küçükköy	10	20/12	10/3
Büyükköy	10	15/10	15/3
Yazır	15	20/10	15/5
Yelten	15	30/10	20/5
Toplam	100	160/88	118/41
	Hastalık oranı (%)	**55 (2023-2024)**	**35 (2024-2025)**

İncelenen mantarhanelerde 2023-2024 yılları arasında *P. tolaasii* hastalık oranının %55 iken 2024-2025 yılları arasında bu oranın %35' e düştüğü belirlenmiştir. 2023-2024 yılları arasında gezilen yerlerde hastalıklı örnek sayıları fazla iken 2024-2025 yılları arasında *P. tolaasii* ile bulaşık mantar örneklerinin sayısında azalma olduğu görülmüştür (Çizelge 1).Buna bağlı olarak da hastalık oranlarında yıllara bağlı olarak azalmanın olduğu, 2023-2024 arasında hastalık oranı %55 iken 2024-2025 yılları arasında ise hastalık oranının %35 olduğu bulunmuştur (Çizelge 1).

Araştırma sonuçlarına göre üreticilerin hastalık konusunda çoğunun bilgi sahibi olduğu ancak 100 üreticinin sadece 25 tanesinin bitki koruma bilgileri bakımından yeterince bilgiye sahip olmadığı belirlenmiştir.

Üreticilerin çoğunluğu üretim sırasında kullandıkları kompost ve işçilik ücretlerinin, yine üretim sırasında kullandıkları tarımsal ilaç fiyatlarının çok pahalı olmasından şikayetçi olmuşlardır. Bitki Koruma sorunlarının en büyük kısmını üretim alanlarında görülen hastalık

ve zararlı etmenleri oluşturmuştur. Üreticilerin hemen hemen hepsi bakteriyel leke hastalığının mücadelesinin zor olduğunu, bu etmenle mücadelede yoğun ilaç kullanmak zorunda kaldıklarını buna rağmen hastalık etmenini baskı altına almakta zorlandıklarını ve hastalığı durduramadıklarını belirtmişlerdir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Korkuteli mantar üreticilerinin hastalıklarla ilgili sorulara verdikleri cevaplar

Hastalıklarla ilgili bilgiler	**En çok karşılaştıkları etmenler**	**Üretici sayısı (Adet)**
Sizi en çok zorlayan hastalık ve zararlılar nelerdir?	Bakteriyel leke Kuru kabarcık Yaş kabarcık	100
Kullandığınız ilaçlar etkili mi?	Evet Hayır	95 5
Bitki Koruma bilgilerinizin yeterli olduğunu düşünüyor musunuz?	Evet Hayır	75 25
Bakteriyel leke hastalığı ile kolay mücadele edebiliyor musunuz?	Evet Hayır	5 95
Hastalıklarla mücadele ne sıklıkla ilaç kullanıyorsunuz?	Oldukça fazla Haftada 1 Ayda 4-5 kez	75 10 15
Kompost, işçilik ve ilaç fiyatları sizce ucuz mu yoksa pahalı mı?	Ucuz Pahalı	- 100
Hastalıklar ve zararlılarla mücadele konusunda uygulamalarınızın yeterli olduğunu düşünüyor musunuz?	Düşünüyorum Düşünmüyorum	10 90
Hastalıklarla mücadele ve ilaç kullanımı konularında eğitim ve destek almak ister misiniz?	Evet isterim Hayır istemem	98 2

Yapılan araştırma sonuçlarına göre, üreticilerin büyük çoğunluğunun bitki koruma uygulamaları konusunda özellikle hastalık etmenleri ve zararlılar ile mücadele ve ilaç kullanımı konusunda (%90) bilgi eksikliklerinin olduğu, patojen ile mücadele edebilmek için daha fazla ilaç kullandıkları (%75) ve ilaçlama sıklığını arttırdıkları belirlenmiştir (Çizelge 2). Üreticilerin çoğunluğu mücadele sırasında kullandıkları zirai mücadele ürünlerinin pahalı olmasından (%100) dolayı daha ucuz olan kimyasalları tercih ettiklerini ve ürünlerini yetiştirirken bu hastalık etmeniyle mücadelede daha fazla emek harcadıklarını ancak ürünlerinin üretim miktarlarının azaldığını ve düşük fiyata ürünlerini pazarladıklarını belirtmişlerdir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda, Korkuteli ilçesi mantar üretim alanlarında bakteriyel benek hastalığı etmeni *P. tolaasii*'nin yıllara bağlı olarak yaygınlık durumu belirlenmiş ve üreticilerin bu patojene karşı etkili olabilecek pestisitleri yoğun olarak kullandıkları, hastalık etmenini kolaylıkla baskı altına alamadıkları belirlenmiştir. Yoğun ilaç kullanımı nedeniyle özellikle mantarlar üzerinde kalıntı problemlerinin olabileceği bunun da de insan sağlığı açısından istenmeyen bir takım sağlık problemlerini ortaya çıkarabileceği düşünülmektedir Yapılan bu çalışmada üreticilere özellikle mücadele ve ilaç kullanımları konusunda eğitim verilmesi,

kalıntıya yönelik denetlemelerin sıklıkla yapılması ve üretim alanlarının daha modernize edilmesi ve hijyen kurallarına uyulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Basim, E. and Basim, H. (2018). Characterization of *Pseudomonas tolaasii* ısolates, causing brown blotch disease of mushroom (*Agaricus bisporus*). International Journal of Agriculture and Biology, 20, 2721-2730.

Berendsen R.L., Baars J.P., Kalkhove S.I.C., Lugones L.G., Wösten H.A.B., & Bakker P.A.H. (2010). Pathogen profile *Lecanicillium fungicola*: causal agent of dry bubble disease in white-button mushroom. Molecular Plant Pathology, 11, 585–95.

Elad, Y., Yunis, H., & Katan, T. (1992). Multiple resistance to benzimidazoles, dicarboximides and diethofencarb in field isolates of *Botrytis cinerea* in Israel. Plant Pathology, 41, 41-46

Huang, X., Huang, Y., Nie, Y.& Liu, B. (2024). Biological characteristics of two pathogens causing brown blotch in *Agaricus bisporus* and the toxin identification of *Cedecea neteri*. Phytopathology Research, 6, 21.

Largeteau, M.L., & Savoie, J.-M. (2008). Effect of the Fungal Pathogen *Verticillium fungicola* on Fruiting Initiation of Its Host, *Agaricus bisporus*. Mycological Research, 112, 825–828.

Lincoln, S.P., Fermor, T.R., & Tindall, B. J. (1999). *Janthinobacterium agaricidamnosum* Sp. Nov., a Soft Rot Pathogen of *Agaricus bisporus*. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 49, 1577–1589.

McKay, G.J., Egan, D., Morris, E., Scott, C., & Brown, A.E. (1999). Genetic and morphological characterization of *Cladobotryum* species causing Cobweb Disease of mushrooms. Applied and Environmental Microbiology, 65, 606–610.

Mehrparvar, M.E., Mohammadi Goltapeh, E, & Safaei, N. (2013). Resistance of Iranian *Lecanicillium fungicola* to benzimidazole and ergosterol demethylation inhibiting fungicides. Journal of Agricultural Science and Technology, 15, 389–95.

Novikova, I., & Titova, J. (2023). Antifungal activity of industrial *Bacillus* strains against *Mycogone perniciosa*, the causative agent of wet bubble disease in white button mushrooms. Microorganisms, 11, 2056.

Singh, N., Vaidya, D., Mishra,V. & Thakur, K. (2016). Sheif life and storage quality of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) as affected by packing material. International Journal of Approximate Reasoning, 4, 1790-1799.

Staub, T. (1991). Fungicide resistance: Practical experience with antiresistance strategies and the role of integrated use. Annual Review of Phytopathology , 29, 421-442.

Tajalipour, S., Hassanzadeh N., Khabbaz, J.H., Heydari, A., & Ghasemi, A. (2014). Biological control of mushroom brown blotch disease using antagonistic bacteria. Biocontrol Science and Technology, 24(4), 473–484.

Wong, W.C., & Preece, T.F. (1979). Identification of *Pseudomonas tolaasii*: the white line in agar and mushroom tissue block rapid pitting tests. Journal of Applied Microbiology, 47, 401–407.

BURDUR İLİ VE ÇEVRESİNDE YETİŞTİRİLEN ŞEKERPANCARI ÜRETİM ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN FUNGAL PATOJENLER VE BUNLARIN YAYGINLIK DURUMLARININ BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Esin BASIM[1]

[1]Akdeniz Üniversitesi,
Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Programı, Antalya,
esinbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0001-9188-6609

ÖZET

Şekerpancarı ekonomik öneme sahip olan ürünlerden birisidir. Üretim sırasında şekerpancarı verimini etkileyen canlı hastalık etmenleri önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, Burdur ili ve çevresindeki şekerpancarı üretim alanlarında görülen hastalıklı bitki örneklerindeki fungal kaynaklı patojenlerin belirlenmesi ve bu patojenlerin yaygınlık oranlarının tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla, şekerpancarı tarımının yoğun olarak yapıldığı üretim alanlarına 2024-2025 yılları arasında sörveyler yapılmış ve hastalık belirtisi gösteren bitkiler toplanarak izolasyonlar yapılmıştır. İzolasyonlar sonucunda %83 oranında *Cercospora* yaprak lekesi etmeni *Cercospora beticola*, % 16.3 oranında *Alternaria* yaprak lekesi etmeni *Alternaria* spp., %50 oranında beyaz çürüklük etmeni *Sclerotium rolfsii*, %33 oranında kök çürüklüğü etmeni *Rhizoctonia solani* ile %10 oranında solgunluk etmeni *Fusarium* spp. patojenleri tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde; Burdur ili şekerpancarı üretim alanlarında birinci derecede en fazla *Cercospora* yaprak lekesi etmeni *Cercopora beticola* ile ikinci derecede de beyaz çürüklük etmeni *Sclerotium rolfsii*'nin en yaygın fungal patojenler olduğu belirlenmiştir. Bu iki patojenin çok yaygın olarak tespit edilmelerinin nedenleri arasında özellikle üreticilerin yağmurlama sulamayı ve azotlu gübrelemeyi çok sıklıkla kullanmalarına bağlayabiliriz. *Cercospora* yaprak lekesi ciddi anlamda şeker verimi ve kaliteyi etkilediği ve aynı zamanda ekonomik anlamda zarar verdiği için *Cercospora* yaprak lekesi hastalığına karşı sık ve uzun süreli yağmurlama sulamadan ve de aşırı azotlu gübrelemeden kaçınmak gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Şekerpancarı, *Beta vulgaris*, Şekerpancarı Hastalıkları, Fungus, Burdur

DETERMINATION OF FUNGAL PATHOGENS ISOLATED FROM SUGAR BEET PRODUCTION AREAS IN BURDUR PROVINCE AND THEIR PREVALENCE

Prof. Dr. Esin BASIM[1]

[1]Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Organic Agriculture, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr

0000-0001-9188-6609

ABSTRACT

Sugar beet is an important crop economically. Live disease agents that impact sugar beet yield during production are significant. This study aimed to identify fungal pathogens in diseased plant samples from sugar beet production areas in and around Burdur province and to determine the prevalence of these pathogens. Surveys were conducted in areas with intensive sugar beet cultivation between 2024-2025, where symptomatic plants were collected and isolated. The isolations revealed *Cercospora beticola* (leaf spot) in 83 %, *Alternaria* spp. (leaf spot) in 16.3%, *Sclerotium rolfsii* (white rot) in 50 %, *Rhizoctonia solani* (root rot) in 33 %, and *Fusarium* spp. (wilting) in 10 % of cases. The findings indicate that *Cercospora beticola*, the cause of *Cercospora* leaf spot, is the most common fungal pathogen in sugar beet fields in Burdur, followed by *Sclerotium rolfsii*, which causes white rot. The widespread presence of these two pathogens is likely due to frequent sprinkler irrigation and nitrogen fertilization practices by farmers. Since *Cercospora* leaf spot significantly reduces sugar yield and quality and causes economic losses, it is essential to limit frequent and prolonged sprinkler irrigation and excessive nitrogen fertilization to control this disease.

Key Words: Sugar Beet, *Beta vulgaris*, Sugar Beet Diseases, Fungi, Burdur

1.GİRİŞ

Şeker pancarı alternatif ürünlere göre dış pazar değeri yüksek, tarıma dayalı sanayiler arasında ise verimlilik, kârlılık ve katma değer yönünden belirgin üstünlüğü olan 2 yıllık bir tarım ürünüdür. Ayrıca tarım ve endüstri kesiminde diğer ürünlerine göre daha fazla istihdam olanağı sağlamaktadır. Şeker pancarı endüstriyel bir bitki olup, endüstri bitkileri içinde sağladığı katma değer bakımından da 2. sırada yer almaktadır. Türkiye'de şeker pancarı üretimi kotaya tabi olup şeker fabrikalarının bulunduğu bölgelerde yoğun olarak üretilmektedir. (Kadıoğlu,2009).

Dünya şeker pancarı ekim alanlarının %21,5'luk kısım Rusya'ya ait iken %6,2'lik kısım ise Türkiye'ye aittir (Kanat, 2023). Dünyanın en büyük şeker üretici ülkesi 42,0 milyon ton ile Brezilya olup Dünya sıralamasında Türkiye'nin payı %2' dir ve Türkiye 11. sırada yer almaktadır (Kanat, 2023). Türkiye'de devlete ait 15 adet, özel kuruluşlara ait 12 adet ve kooperatiflere ait 6 adet olmak üzere 33 adet şeker fabrikası bulunmaktadır (Kadakoğlu ve ark., 2023). Burdur ilinde yer alan Türkşeker' e ait Burdur şeker fabrikası halen şehirde hizmet

vermektedir. Şeker fabrikası ilde 5320 ton/gün şeker pancarı işleme kapasite ile yılda ortalama 141 gün faaliyet göstermektedir (Kadakoğlu ve ark., 2023). Türkiye'de üretilen 23.500.000 tonluk şekerpancarı üretiminde Burdur 230.515 ton üretimiyle %0.98' lik bir paya sahiptir (Tarım-Orman Bakanlığı, 2024).

Şeker pancarı işlendiğinde hem melas hem de küspe hayvan yemi olarak kullanılmakta olup, bunun yanında ispirtonun üretiminde kullanılan önemli bir hammaddedir. Şeker pancarı yetiştiriciliği sırasında bazı hastalık etmenleri ve zararlılar ürün verimliliğini azaltan faktörler olarak önemli bir yer tutmaktadır. Bunlar arasında şeker pancarı yetiştiriciliği sırasında özellikle kök ve yaprak hastalık etmenleri en çok görülen hastalıklar olup bunlar üründe önemli verim kayıplarına yol açmaktadırlar. Bu çalışmanın amacı da Burdur ili ve çevresinde şekerpancarı üretim alanlarında ortaya çıkan fungal hastalık etmenlerinin belirlenmesidir.

2. MATERYAL VE METOT

Burdur ili ve çevresindeki şekerpancarı üretim alanlarında görülen hastalıklı bitki örneklerindeki fungal kaynaklı patojenlerin belirlenmesi ve bu patojenlerin yaygınlık oranlarının tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla, şekerpancarı tarımının yoğun olarak yapıldığı üretim alanlarına 2024-2025 yılları arasında sörveyler yapılmış toplam 50 şekerpancarı üretim alanlarından hastalık belirtisi gösteren yapraklardan ve hastalıklı bitki köklerinden örnekler alınmış ve etiketlenerek laboratuvara getirilmiştir. Hastalıklı bitki örneklerinden izolasyonlar yapılmıştır**.** İzolasyonlarda Patates Dextrose Agar (PDA) besi ortamı kullanılmıştır. Sörveylerde tarlanın köşegenleri doğrultusunda örneklemeler yapılmıştır. Sörveylerde kök çürüklüğü belirtisi gösteren ölmek üzere olan bitkiler ve solgunluk belirtisi gösteren solgun bitki ve bitki yaprakları, hastalık belirtisi gösteren özellikle de leke ve yanıklık simptomuna sahip olan yaprak örnekleri ile şekerpancarı meyvelerinde yumrularda renk değişikliği ve çürüme belirtisi gösteren hastalıklı bitkiler örnek olarak alınmış ve Warcup, (1958)'un bildirdiği yönteme göre fungal izolasyonlar yapılmıştır. Hastalıklı dokulardan besi ortamına ekimler yapılıp, petriler 26-27^0 sıcaklıkta inkubasyona bırakılarak her gün kontrol edilmiştir. Petrilerde gelişen fungal kültürlerden saflaştırmalar yapılarak tek spor izolasyonu ile işlemler tamamlanmıştır. Benzer koloniyal gelişim gösteren kültürler saf olarak değerlendirilerek mikroskobik olarak cins ve tür düzeylerinde tanıları yapılmıştır. Saf olarak gelişimleri sağlanan fungal kültürlerin cins ve tür düzeyindeki tanımlarında mikroskobik özellikleri dikkate alınmış ve Booth (1971), Barnett ve Hunter (1972), Domsch ve ark. (1980)'dan yararlanılarak tanılamalar gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2024-2025 yılları arasında Burdur ilinde şeker pancarı üretimini yapıldığı Merkez, Yeşilova, Karamanlı ve Tefenni'deki şeker pancarı üretim alanlarından hastalık belirtisi gösteren hastalıklı bitki materyalleri toplanmıştır (Çizelge 1 ve Çizelge 2).

Çizelge 1. Burdur ili şeker pancarı üretim alanlarından alınan örnek sayıları

Örneklerin alındığı yerler	Hastalıklı örnek sayısı (Adet)	Örneklerin alındığı arazi sayısı (Adet)
Merkez	55	22
Yeşilova	25	10
Karamanlı	15	8
Tefenni	25	10
Toplam	120	50

Çizelge 2. Burdur ili ve çevresinden elde edilen hastalıklı bitki materyalleri ve yerlerine ait bilgiler

Örnek Alanları	Hastalıklı bitki materyalleri	Örnek sayısı (Adet)
Merkez	Yaprak, kök, meyve	55
Yeşilova	Yaprak, meyve, kök	10
Karamanlı	Yaprak, meyve	8
Tefenni	Yaprak, kök, meyve	10
Toplam		50

Çizelge 3. Burdur ili ve çevresinden elde edilen fungal patojenlere ait bilgiler

Hastalığın tespit edildiği bitki alanları	Hastalıklı tespit edildiği bitki materyalleri	Hastalık Etmenleri	Hastalık Adı	Hastalık Oranı (%)
Merkez	Yaprak	*Cercospora beticola*	*Cercospora* yaprak lekesi	86.36
Merkez	Yaprak	*Alternaria* spp.	*Alternaria* yaprak lekesi	22.70
Merkez	Kök	*Sclerotium rolfsii*	Beyaz çürüklük	72.70
Merkez	Kök	*Rhizoctonia solani*	Kök çürüklüğü	45.45
Yeşilova	Yaprak	*Fusarium* spp.	Solgunluk	10.00
Yeşilova	Yaprak	*Cercospora beticola*	*Cercospora* yaprak lekesi	80.00
Yeşilova	Kök	*Sclerotium rolfsii*	Beyaz çürüklük	50.00
Yeşilova	Yaprak	*Alternaria spp.*	*Alternaria* yaprak lekesi	20.00
Yeşilova	Kök	*Rhizoctonia solani*	Kök çürüklüğü	30.00
Karamanlı	Yaprak	*Cercospora beticola*	*Cercospora* yaprak lekesi	75.00
Karamanlı	Kök	*Rhizoctonia solani*	Kök çürüklüğü	25.00
Karamanlı	Kök	*Sclerotium rolfsii*	Beyaz çürüklük	37.50
Karamanlı	Yaprak	*Alternaria* spp.	*Alternaria* yaprak lekesi	12.50
Tefenni	Yaprak	*Cercospora beticola*	*Cercospora* yaprak lekesi	90.00
Tefenni	Yaprak	*Alternaria* spp.	*Alternaria* yaprak lekesi	10.00
Tefenni	Kök	*Sclerotium rolfsii*	Beyaz çürüklük	40.00
Tefenni	Kök	*Rhizoctonia solani*	Kök çürüklüğü	30.00

İncelenen alanlarda en fazla *Cercospora beticola* %90 oranıyla Tefenni' de ve %86.36 oranıyla Merkez' de tespit edilmiştir. Bunu Yeşilova (%80) ve Karamanlı (%75) ilçeleri izlemiştir. Beyaz çürüklük etmeni ise en fazla merkezde (%72.70) bulunmuştur. *Rhizoctonia solani* patojeni de merkezde %45.45 oranıyla tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 4. Burdur İli ve çevresinden elde edilen hastalık etmenleri ve hastalık oranları (%)

Örneklerin alındığı yerler	**Örneklerin alındığı arazi (Adet)**	**Hastalık Etmenleri**	**Toplam Hastalık Oranları (%)**
Merkez, Yeşilova, Karamanlı, Tefenni	22+10+8+10=50	*Cercospora beticola*	83
Merkez, Yeşilova, Karamanlı, Tefenni	22+10+8+10=50	*Sclerotium rolfsii*	50
Merkez, Yeşilova, Karamanlı, Tefenni	22+10+8+10=50	*Rhizoctonia solani*	33
Merkez, Yeşilova, Karamanlı, Tefenni	22+10+8+10=50	*Alternaria* spp.	16.30
Yeşilova	10	*Fusarium* spp.	10

Burdur ili ve çevresindeki farklı şekerpancarı üretim alanlarından elde edilen izolasyonlar sonucunda en fazla fungal patojenler olarak *Cercopora beticola* (%83), *Sclerotium rolfsii* (%50*)* ve *Rhizoctonia solani* (% 33) belirlenmiştir. Ayrıca *Alternaria* spp. %16.30 oranla belirlenen patojen olmuştur (Çizelge 4). Bu çalışmada, şekerpancarında önemli kayıplara neden olan fungal patojenler belirlenerek üreticilere bu hastalık etmenleri ile nasıl mücadele etmeleri gerektiği konusunda bilgiler verilerek hastalıklara karşı mücadelede önemli katkılar sağlanmıştır.

Türkiye'de farklı araştırıcılar tarafından şekerpancarında görülen hastalık etmenleriyle ilgili farklı çalışmalar yapılmış olup bu çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Basım 2024a; Basım, 2024b; Sarı ve Boyraz, 2019; Özgönen ve Kılıç, 2009; Ulu ve Boyraz, 2012; Adıyaman, 2010). Sarı ve Boyraz (2019) da yaptıkları çalışmalarda hem 2016 hem de 2017 yıllarında *Cercospora* yaprak leke hastalığının en yaygın ve epidemi yapabilecek şekilde ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Ulu ve Boyraz (2012), yaptıkları sörvey çalışmalarında *Cercospora beticola* hastalığının Kayseri'nin bütün ilçelerinde mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Adıyaman, 2010 yılında yaptığı bir çalışmasında şeker pancarı ekim alanlarında *Fusarium* ve *Rhizoctonia* vb fungal hastalık etmenlerini tespit etmiştir. Adıyaman (2010) aynı zamanda *Cercospora beticola* etmeninin neden olduğu *Cercospora* yaprak leke hastalığını ülkemizde ilk kez İç Anadolu Bölgesi'nde tespit etmiştir. Özgönen ve Kılıç (2009), Isparta'nın farklı ilçelerinde sürveyler sonucunda en yaygın olarak *Alternaria* ve *Cercospora* yaprak leke hastalıklarını, *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp. ve *Fusarium* spp. etmenlerinin de hastalık oluşturduğunu bulmuşlardır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda, Burdur ili ve çevresinde şeker pancarı fungal hastalık etmenleri belirlenmiş ve bu patojenlerden *C. beticola* ile *S. rolfsii'* nin en fazla tespit edilen patojenler olduğu bulunmuştur. Üreticiler bu patojenlere karşı etkili olabilecek pestisitleri yoğun olarak kullanmakta ve pestisitlerin aşırı kullanımı sonucunda patojenlerde dayanıklılık problemleri ortaya çıkmakta aynı zamanda pestisitlerin özellikle meyve dönemlerinde kullanımları sonucu ortaya çıkan kalıntı problemleri de insan sağlığı açısından istenmeyen bir takım sağlık problemlerini de ortaya çıkarmaktadır. Şeker pancarı yetiştiriciliğinde üreticilerin uygun zamanda kültürel mücadle işlemlerini yapması büyük önem taşımaktadır. Kısa ve erken sürede hastalık etmenlerinin tespit edilmesi önemli olduğundan dolayı üreticilerin üretim alanlarını gezerek tespit ettikleri hastalıklı bitki materyallerinin uzaklaştırılması populasyonların yayılmasının engellenmesinde ve azaltılmasında büyük önem taşımaktadır. Üretim alanlarında kullanılan her türlü alet ve ekipmanların temiz olması da önemlidir. Üreticilerin sulama ve nem koşullarına da dikkat etmeleri gereklidir.

KAYNAKLAR

Adıyaman, M. (2010). Şeker pancarında şeker birikimini etkileyen faktörler. Teknik Bülten No:11, s:2, Ankara.

Basım, E. (2024ab). Disease causes detected in sugar beet production areas in Antalya province Elmalı district. International 6th BURSA Scientific Research Congress, December 24-26, Bursa/TÜRKİYE, 1097-1100.

Basım, E. (2024). Determining the prevalence of *Cercospora* leaf spot disease caused by *Cercospora beticola* Sacc. in sugar beet pruduction areas of Antalya province, International 6th BURSA Scientific Research Congress, December 24-26, Bursa/TÜRKİYE, 1101-1107.

Barnett, H. L., Hunter, B. B. (1972). Illustrated genera of imperfect fungi. Third Edition, Burgess Publishing Co., Minneapolis, Minn., 218.

Booth, C. (1971). Fusarium laboratory guide to the identification of major species. Commonwealth Mycological Inst. Kew. Surrey, England, pp 58.

Domsch, K. H., Gamsand, W., Anderson T. H. (1980). Compendium of soil fungi. Academic Press London. 859 pp.

Kadakoğlu, B., Karlı, B., Taşçı, N., Özyürek, H. (2023). Şeker Pancarı Üretim Maliyeti ve Kârlılık Analizi: Burdur İli Örneği. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 26 (2), 385-392,

Kadıoğlu, Y. (2009). Çivril'de şekerpancarı tarımının coğrafi özellikleri. Doğu Coğrafya Dergisi, 14(22), 107-124.

Kanat, Z. (2023). Şekerpancarı ve şeker ürün raporu. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE yayın No:388, 26 ss.

Özgönen, H., Kılıç, H. Ç. (2009). Isparta ili sekerpancarı ekim alanlarında fungal hastalıkların ve yaygınlık oranlarının belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(1),1–22.

Sarı,A., Boyraz, N. (2019). Konya ili Çumra yöresinde şekerpancarında görülen fungal hastalıklar üzerine genel bir değerlendirme. Journal of Bahri Dagdas Crop Research 8 (2), 279-288,

Tarım-Orman Bakanlığı (2024). BURDUR Tarımsal Yatırım Rehberi, 31 ss.

Ulu, O., Boyraz, N. (2012). Kayseri ili şekerpancarı ekim alanlarındaki fitopatolojik sorunların tespiti ve tanılanması. I. Uluslararası Şeker pancarı Sempozyumu, 20-22 Eylül 2012, Kayseri.

Warcup, J. H. (1958). Distribution and Detection of Root-Disease Fungi. Plant pathology Problems and Progress (Ed.) C. S: Hulton, G. W. Fulton, Helen Hert, SEA, Mc Callon The Ragents of the University of Wisconsen, 317-324.

SEBZE VE MEYVE ÜRETİMİNDE BİYOLOJİK MÜCADELENİN YERİ KONUSUNDA ANTALYA İLİ ÜRETİCİLERİNİN BİLGİ DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Esin BASIM[1]

[1]Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Programı, Antalya,
esinbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0001-9188-6609

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[2]

[2]Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya,
hbasim@akdeniz.edu.tr,
0000-0002-8059-3680

ÖZET

2024-2025 yılları arasında Antalya ili sebze ve meyve üretim alanlarındaki üreticilerin biyolojik mücadele konusundaki bilgi düzeyleri belirlenmiştir. Bu amaçla, 50 sebze üreticisi ve 50 meyve üreticisi ile yüz yüze anket çalışmaları yürütülmüştür. Hem sebze hem de meyve üreticilerine 4 bölümden oluşan anket soruları yöneltilmiştir. 1. bölümde üreticilere üretim alanları ile ilgili sorular, 2. bölümde üreticilerin üretimleriyle ilgili bilgileri kapsayan sorular, 3. bölümde pestisit kullanımları ile ilgili bilgileri içeren sorular ve 4. bölümde de biyolojik mücadele ile ilgili sorular yöneltilmiştir. Üreticilerin bu sorulara verdikleri cevaplar değerlendirildiğinde; sebze üreticilerinin %85'i üretim sırasında pestisit kullandıklarını, %10'u biyolojik mücadele uyguladıklarını, %5'i üretim sırasında kültürel ve fiziksel mücadele yöntemlerini uyguladıklarını ancak pestisit kullanımından kaçındıklarını, biyolojik içerikli ve bitkisel ürünleri ilaçlamalarında tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Meyve üreticilerinin ise % 80'i üretim sırasında pestisitleri kullandıklarını, %20' si ise biyolojik mücadele yaptıklarını belirtmiştir. Antalya ili üreticilerinin biyolojik mücadele konusunda biraz endişeli oldukları, hastalık ve zararlıların hemen baskı altına alınamadığını ve mücadelenin uzun sürdüğünü, sonuçların hemen görülmediğini ve sonuçların etkilerini görmek için beklemek zorunda kaldıklarını, ürünlerini sattıklarında ise para kazanamadıklarını belirtmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Biyolojik Mücadele, Sebze, Meyve, Antalya

ASSESSING THE KNOWLEDGE LEVELS OF PRODUCERS IN ANTALYA PROVINCE REGARDING THE ROLE OF BIOLOGICAL CONTROL IN VEGETABLE AND FRUIT PRODUCTION

Prof. Dr. Esin BASIM[1]

[1]Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Organic Agriculture, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr

0000-0001-9188-6609

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[2]

[2]Akdeniz University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr

0000-0002-8059-3680

ABSTRACT

The knowledge levels of vegetable and fruit producers in Antalya province regarding biological pest control were assessed between 2024 and 2025. To do this, face-to-face surveys were conducted with 50 vegetable producers and 50 fruit producers. Both groups were asked questions in four sections. Section 1 covered their production areas, Section 2 addressed their production processes, Section 3 included questions about pesticide use, and Section 4 focused on biological pest control. When analyzing their answers, it was found that 85% of vegetable producers used pesticides during production, 10% applied biological control, and 5% used cultural and physical methods to avoid pesticides and instead chose biological and plant-based products for spraying. Similarly, 80% of fruit producers reported using pesticides, while 20% employed biological control. Producers in Antalya have expressed concerns about biological pest control, noting that diseases and pests cannot be controlled immediately, the process is lengthy, results are not instant, and they have to wait to see effects. They also mentioned that they do not earn money while waiting to sell their products.

Key Words: Biological Control, Vegetable, Fruit, Antalya

1.GİRİŞ

Biyolojik mücadeleyi bitkilerde ekonomik kayıplara neden olan zararlı mikroorganizma ya da böceklere karşı faydalı ya da yararlı olarak adlandırılan mikroorganizmaların ya da predatör veya avcı böceklerin kullanılması suretiyle gerek zararlı mikroorganizma gerekse zararlıların doğrudan engellenmesi veya zarar seviyelerinin minimuma indirilmesi amacıyla yapılan mücadele olarak tanımlayabiliriz. Son yıllarda tarımda hastalık, zararlı ve yabancı ot mücadelelerinde doğal bitki koruma etmenlerinin tespiti ve pratikte uygulamaya aktarılması önem kazanmış durumdadır. Çünkü, üretim sırasında hastalıklar ve zararlılar ile mücadelede yoğun olarak pestisit kullanılmakta bu durum da hem insan hem de çevre sağlığı açısından istenmeyen bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Biyolojik mücadele uygulamalarının doğal dengeyi koruması, insan sağlığı ve çevre için olumsuz etkilerinin bulunmaması, dayanıklılık problemlerinin olmaması, sürdürülebilirliğinin yüksek olması ve ekonomik olması gibi nedenlerle daha etkin kullanılması ve desteklenmesi gerekmektedir. Biyolojik mücadele

uzun bir zaman ve sabır isteyen bir mücadele yöntemidir. Teorikte biyolojik mücadele uygulamaları meyvecilik gibi çok yıllık kültür bitkilerinde daha başarılı şekilde yürütülmektedir. Kısa ve entansif tarımın uygulandığı sera gibi alanlarda ise üreticiler tarafından tercih edilmemektedir. Biyolojik ajanların zararlı popülasyonlarına baskın hale gelebilmeleri için belli bir süre ve zamanın geçmesi yani bir başlangıç riskinin bulunması nedeniyle entansif tarımda üreticiler kullanmak istememektedirler. Bu çalışmanın amacı da 2024-2025 yılları arasında Antalya ili sebze ve meyve üretim alanlarındaki üreticilerin biyolojik mücadele konusunda ne düzeyde bir bilgi düzeyine sahip oldukları, uygulama yapıp yapmadıkları ve biyolojik mücadele konusundaki görüş ve önerilerini belirleyerek sebze ve meyve üreticilerinin biyolojik mücadele görüşlerini değerlendirilmektir.

2. MATERYAL VE METOT

Antalya ili ve çevresindeki 50 sebze üreticisi ve 50 meyve üreticisi (Çizelge 1) ile birebir yüz yüze tesadüfü örnekleme yöntemi ile anket çalışması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, hem sebze hem de meyve üreticilerine 4 bölümden oluşan anket soruları yöneltilmiştir. 1. bölümde üreticilere üretim alanları ile ilgili sorular, 2. bölümde üreticilerin üretimleriyle ilgili bilgileri kapsayan sorular, 3. bölümde pestisit kullanımları ile ilgili bilgileri içeren sorular ve 4. bölümde de biyolojik mücadele ile ilgili sorular yöneltilmiştir. Üreticilerden elde edilen veriler üreticilerin yüzde oranları üzerinden gidilerek analizler yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2024-2025 yılları arasında Antalya ilinde seracılığın yoğun olarak yapıldığı Altınova, Gaziler, Kurşunlu ve Aksu'daki üreticiler ile meyve üretiminin yapıldığı Aksu, Manavgat, Gazipaşa ve Alanya ilçelerinde üretim yapan üreticiler ile yüz yüze anket çalışması yapılarak (Çizelge 1 ve Çizelge 2) sorulara verdikleri cevaplar değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge 1. Antalya ili ve çevresinde incelenen sebze üreticilerine ait bilgiler

Sebze Alanları	Yetiştirilen Ürün	İncelenen Sera Sayıları (Adet)
Altınova	Domates	13
Gaziler	Domates	10
Kurşunlu	Domates	12
Aksu	Domates	15
Toplam		50

Değerlendirme sonucunda elde edilen veriler Çizelge 3, Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir. Sebze üreticilerinin %100'ü ilk sırada domates yetiştiriciliğini tercih etmektedirler. Genellikle üreticilerin lise mezunu ve yaş ortalamalarının 40-60 yaş arasında olduğu ve plastik serada üretim yaptıkları, sera büyüklüklerinin de 2 dönüm ile 6 dönüm arasında değiştiği belirlenmiştir. Meyve üreticilerinin ise portakal ve muz üretimini daha çok tercih ettikleri belirlenmiştir. Meyve üretiminde bulunan üreticilerin çoğunluğu lise mezunu iken bazılarının üniversite mezunu olduğu, yaş ortalamasının da 35-55 yaş arasında olduğu tespit edilmiştir. Meyve bahçesinin büyüklüklerinin ise 5 dönüm ile 25 dönüm arasında değiştiği belirlenmiştir. Sebze üreticilerinin 60'ı 10-15 yıldır üretim yaptıklarını, meyve üreticilerinin ise %40'ı 15 yıldır üretimde olduklarını belirtmişlerdir. Sera üreticilerinin %90'ı meyve üreticilerinin de 96'ı

kendilerine ait mülkiyette faaliyetlerini sürdürmektedirler. Sera üreticilerinin %70'i meyve üreticilerinin ise %88'i toprak işlemesi yaptıklarını buna karşın sera üreticilerinin %80'i ile meyve üreticilerinin %40'ı yeşil gübreleme yapmadıklarını belirtmişlerdir. Seracıların %90'ı meyve üreticilerinin ise %60'ı geçim kaynağı olarak tarımı kullandıklarını ifade etmişlerdir (Çizelge 3).

Çizelge 2. Antalya ili ve çevresinde incelenen meyve üreticilerine ait bilgiler

Meyve Alanları	Yetiştirilen Ürün	İncelenen Meyve Bahçesi Sayısı (Adet)
Aksu	Portakal, Mandalina	12
Manavgat	Portakal, Muz	12
Gazipaşa	Muz, Pitaya	12
Alanya	Muz, Portakal	14
Toplam		50

Çizelge 3. Antalya ili sera ve meyve üretiminde üreticilerin üretimine ilişkin sonuçlar

Üretime ait sorular	İncelenen Sera Sayıları (adet)	Uygulama	Oran (%)
Kaç yıldır sera (S) üretimi ile uğraşıyorsunuz?	5	5 yıl	10
	30	10-15 yıl	60
	15	20 yıl	30
Kaç yıldır meyvecilik (M) yapıyorsunuz?	4	3 yıl	8
	12	8-10 yıl	24
	20	15 yıl	40
	8	20 yıl	16
	6	25 yıl	12
Seranın mülkiyeti	45	Kendime ait	90
	5	Kira	10
Meyve bahçesi mülkiyeti	48	Kendime ait	96
	2	Kira	4
Toprak işleme yapıyor musunuz?	S=10 /M=5	Evet	20/10
	S=35/M=44	Hayır	70/88
	S=5/M=1	Bazen uygularım	10/2
Yeşil gübreleme yapıyor musunuz?	S=10/M=25	Evet	20/50
	S=40/M=20	Hayır	80/40
	S=0/M=5	Nadiren yaparım	-/10
Sulama suyu	S=50/M=50	Damlama	100/100
		Salma	-
Başka geçim kaynağınız var mı?	S=45/M=30 S=5/M=20	Hayır Evet	90/60 10/40

Çizelge 4 incelendiğinde ise sera üreticilerinin %86' sı üretim sırasında ilaç kullandığını ve %94'ünün kullandıkları ilaçları genellikle ilaç bayilerinin tavsiyelerine göre alıp kullandıklarını ve %90'ını da ilaçları etkili bulduklarını ifade etmişlerdir. Sera üreticilerinin %80'i meyve döneminde en fazla ilaç kullandığını, %90'ı da ilaçların bekleme sürelerine riayet ettiklerini belirtmişlerdir. Sera üreticilerinin %100 ilaçları kullandıktan sonra üretici kayıt defterine işlettiklerini ve %60'ı ilaç kutularını sera dışında topladıklarını ifade etmişlerdir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Antalya ili sera üreticilerinin üretim sırasında kullandıkları pestisit uygulamaları ile ilgili soru ve cevapları

Pestisitlerle ilgili bilgiler	Uygulama Şekli	Cevaplayan Sera Sayısı (Adet)	Oran (%)
İlaç kullanıyor musunuz?	Evet	43	86
	Hayır	7	14
İlaçları kime danışarak kullanıyorsunuz?	İlaç Bayisi	47	94
	Komşum	3	6
Kullandığınız ilaçların etkili olduğunu düşünüyormusunuz?	Etkili	45	90
	Bazen etkisiz	2	4
	Etkisiz	3	6
En fazla hangi dönemde kullanıyorsunuz?	Meyve	40	80
	Fide	8	16
	Tohum	2	4
Yoğun olarak ilaçları hangi dönemde atıyorsunuz?	Güz	30	60
	Bahar	20	40
İlaçları kaç kez kullanıyorsunuz?	4 kez 2 kez 2 haftada 1 Ayda 1	30 10 5 5	60 20 10 10
Bekleme sürelerine dikkat ediyormusunuz?	Ediyorum	45	90
	Etmiyorum	-	-
	Bazen ediyorum	5	10
Kullanılan ilaçları üretici defterine kaydediyor musunuz?	Kayıt ediyorum	50	100
	Kayıt etmiyorum	-	-
	Bazen ederim	-	-
İlaçları kullandıktan sonra boşalan kutuları ne yapıyor sunuz?	Serada kenarda biriktiriyorum	10	20
	Dışarıda topluyorum	30	60
	Yakıyorum	5	10
	Atığa veriyorum	3	6
	Çöpe atıyorum	2	4
Kalıntı analizi yapılıyor mu?	Yapılıyor	20	40
	Yapılmıyor	30	60
İlaçlamada kullandığınız aletleri ne sıklıkla temizliyorsunuz?	Her zaman	45	90
	Arada bazen	2	4
	Her kullanımdan önce	3	6
İlaçları nerede saklıyorsunuz?	Depoda	35	70
	Serada	15	30

Çizelge 5. Antalya ili meyve üreticilerinin üretim sırasında kullandıkları pestisit uygulamaları ile ilgili soru ve cevapları

Pestisitlerle ilgili bilgiler	Uygulama Şekli	Cevaplayan Sera Sayısı (Adet)	Oran (%)

İlaç kullanıyor musunuz?	Evet	40	80
	Hayır	10	20
İlaçları kime danışarak kullanıyorsunuz?	İlaç Bayisi	50	100
	Komşum	-	-
Kullandığınız ilaçların etkili olduğunu düşünüyormusunuz?	Etkili	48	96
	Bazen etkisiz	-	-
	Etkisiz	2	4
En fazla hangi dönemde kullanıyorsunuz?	Meyve dönemi	30	60
	Sezon başı	15	30
	Sezon sonu	5	10
Yoğun olarak ilaçları hangi dönemde atıyorsunuz?	Güz	15	30
	Bahar	35	70
İlaçları kaç kez kullanıyorsunuz?	5-6 kez 10 kez Haftada 1 Haftada 3 kez	20 8 12 10	40 16 24 20
Bekleme sürelerine dikkat ediyormusunuz?	Ediyorum	45	90
	Etmiyorum	-	-
	Bazen ediyorum	5	10
Kullanılan ilaçları üretici defterine kaydediyor musunuz?	Kayıt ediyorum	50	100
	Kayıt etmiyorum	-	-
	Bazen ederim	-	-
İlaçları kullandıktan sonra boşalan kutuları ne yapıyor sunuz?	Dışarıda biriktirip yakıyorum	30	60
	Bir köşeye topluyorum	10	20
	Gömüyorum	5	10
	Atığa veriyorum	1	2
	Çöpe atıyorum	4	8
Kalıntı analizi yapılıyor mu?	Yapılıyor	10	20
	Yapılmıyor	40	80
İlaçlamada kullandığınız aletleri ne sıklıkla temizliyorsunuz?	Her zaman	40	80
	Arada bazen	5	10
	Her kullanımdan önce	5	10
İlaçları nerede saklıyorsunuz?	Depoda	45	90
	Ayrı bir odada	5	10

Çizelge 6. Antalya ili sera ve meyve üreticilerinin biyolojik mücadeleye ilişkin görüşleri

Biyolojik mücadele ile ilgili sorular	**Uygulama şekli**	**Cevaplayan sera/ meyve üretici sayıları(Adet)**	**Oran (%)**
	Evet	S=50/ M=50	100/100

Biyolojik mücadeleye ilişkin bilgiye sahip misiniz?	Hayır	-	-
Biyolojik mücadele uygulaması yapıyor musunuz?	Evet	S=10/M=20	20/40
	Hayır	S=40/M=30	80/60
Biyolojik mücadelenin etkili olduğunu düşünüyormusunuz?	Etkili	S=20/M=30	40/60
	Bazen etkisiz	S=5/M=2	10/4
	Etkisiz	S=25/M=18	50/36
Etkisinin hemen olduğunu söyleyebilirmisiniz?	Evet	S=5/M=15	10/30
	Hayır	S=43/M=30	86/60
	Bilemiyorum	S=2/M=5	4/10
Biyolojik Mücadele desteğinden yararlanıyormusunuz?	Evet	S=10/M=20	20/40
	Hayır	S=40/M=30	80/60
Biyolojik Mücadeleyi önerir misiniz?	Öneririm	S=15/M=25	30/50
	Fikrim yok	S=5/M=10	10/20
	Önermem	S=30/M=15	60/30
Biyolojik mücadele desteği yeterli mi?	Evet	S=5/M=1	10/2
	Hayır	S=45/M=49	90/98
Gelecekte biyolojik mücadelenin kullanımı konusunda iyimsermisiniz?	Evet	S=20/M=40	40/80
	Hayır	S=30/M=10	60/20
Biyolojik ürünlerin kullanımının insan sağlığına nasıl etkilediğini düşünüyorsunuz?	Sağlıklı ve güvenilir	S=30/M=45	60/90
	Sağlıklı olmadığını düşünüyorum	S=2/M=0	4/-
	Güvenilir değil	S=18/M=5	36/10
Biyolojik mücadele sizce neden az tercih ediliyor?	Etkisi hemen gözükmüyor	S=15/M=10	30/20
	Uzun süre beklemek gerekiyor	S=10/M=25	20/50
	Destekleme az	S=10/M=10	20/20
	İlaç kullanamıyorum	S=15/M=5	30/10

Üreticilerin bu sorulara verdikleri cevaplar değerlendirildiğinde; sebze üreticilerinin %86'sı üretim sırasında pestisit kullandıklarını, %10'u biyolojik mücadele uyguladıklarını, %5'i üretim sırasında kültürel ve fiziksel mücadele yöntemlerini uyguladıklarını ancak pestisit kullanımından kaçındıklarını, biyolojik içerikli ve bitkisel ürünleri ilaçlamalarında tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Meyve üreticilerinin ise %80'i üretim sırasında pestisitleri kullandıklarını, %20' si ise biyolojik mücadele yaptıklarını belirtmiştir.

Hem sera hem de meyve üreticilerinin %100'ünün biyolojik mücadele konusunda bilgiye sahip oldukları,sera üreticilerinin %20'si meyve üreticilerinin ise %40'ı biyolojik mücadele uygulaması yaptıklarını belirtmişlerdir (Çizelge 6). Sebze üreticilerinin %90'ı meyve

üreticilerinin ise %98'i biyolojik mücadele desteklerinin yeterli olmadığını, sebze üreticilerinin %30'u meyve üreticilerinin ise %50'si biyolojik mücadele kullanımını desteklediklerini ifade etmişlerdir (Çizelge 6). Gerek sera üreticileri gerekse meyve üreticileri, biyolojik mücadelenin az tercih edilme nedenlerini de mücadelenin etkisinin uzun sürede görülmesine ve ilaç kullanamamalarına bağlamışlardır (Çizelge 6). Farklı araştırıcılar tarafından biyolojik mücadeleye ilişkin yapılmış çalışmalar mevcut olup bu çalışmalarda da benzer sonuçlar gözlenmiştir (Yalçın ve ark., 2024; Sayın ve ark., 2020; Temel ve ark., 2017).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda, Antalya ilinde gerek sera üreticiliğinde gerekse meyve üreticiliğinde en fazla karşılaşılan sorunların başında bitki hastalık etmenleri ve zararlıları gelmekte ve her iki üreticiler de mücadelede bunlara etkili olacak pestisitleri yoğun olarak kullanmakta ve pestisitlerin aşırı kullanımı sonucunda da gerek patojenler gerekse zararlılarda dayanıklılık problemleri ortaya çıkmakta aynı zamanda pestisitlerin özellikle meyve dönemlerinde kullanımları sonucu ortaya çıkan kalıntı problemleri de insan sağlığı açısından istenmeyen bir takım sağlık problemlerini de ortaya çıkarmaktadır. Hastalık ve zararlılarla mücadelede tüm üreticilerin ilaçlamalara dikkat ettikleri ancak biyolojik mücadele konusunda bilgi sahibi olmalarına rağmen az oranda biyolojik mücadele kullanımına sahip oldukları bu çalışmada tespit edilmiştir. Meyve üreticileri sera üreticilerine göre daha fazla oranda biyolojik mücadeleyi tercih etmekte oldukları görülmüştür. Üreticilerin biyolojik mücadele kullanımının mutlaka teşvik edilmesi, destekleme miktarlarının daha fazla oranda arttırılması, biyolojik ürün ve biyolojik mücadele uygulayan üreticilerin ürünlerinin konvansiyonel üretimde elde edilen ürünlere göre daha fazla fiyatla alımının arttırılması, üretici teşviklerinin daha fazla arttırılması elzemdir. Bunların yanında gerek Tarım Bakanlığının gerekse Üniversitelerin mutlaka biyolojik mücadele konusunda üreticilere biyolojik mücadele konusunda farkındalık oluşturmaları, gerekli bilgilerin sağlanması ve eğitilmeleri önemlidir. Biyolojik mücadele çalışmalarının da desteklenmesi ve pratiğe aktarılması gereklidir.

KAYNAKLAR

Sayın, B., Bayav, A,, Beşen, Karamürsel, T. D., Çelikyurt, M. A., Emre, M.,, Kuzgun, M., Yılmaz, Ş. G., Arslan, S. (2020). Üreticilerin Biyolojik ve Biyoteknik Mücadele Uygulamalarına Bakışı ve Çevre Duyarlılıklarının Belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi 23(2), 453-466.

Temel, N., Yarpuzlu, F., Tüfekli, M., Karut, Ş. T., Portakaldalı, Seçer, A. (2017). Sürdürülebilir tarımda biyolojik mücadelenin yeri konusunda çiftçilerin bilgi düzeyinin belirlenmesi. Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi 8 (1), 71-82

Yalçın, F.,Özercan, B.,Saçtı, Z. (2024). Üretici Gözünden Biyolojik Mücadele. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 11(3), 779–790.

PLANLI DAVRANIŞ KURAMI TEMELLİ AKILCI İLAÇ KULLANIMI YAKLAŞIMI

Doç. Dr. Semra KOCATAŞ
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi
Hemşirelik Bölümü Halk Sağlığı Hemşireliği Anabilim Dalı, Sivas, Türkiye
skocatas@gmail.com ORCID ID: 0000-0001-7566-0060
Mehmet Nur İMTAN
Hemşire Mehmet Nur İMTAN
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
(Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği Yüksek Lisans Öğrencisi)
mehmetnur.imtan@gmail.com ORCID ID: 0009-0001-8390-8721
Ahmet Remzi BAYIR
Hemşire Ahmet Remzi BAYIR
(Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği Yüksek Lisans Öğrencisi)
ahmetbayir69@gmail.com ORCID ID: 0009-0004-7985-0784

Özet

Akılcı ilaç kullanımı, bireyin sağlık sorununa uygun ilacı doğru dozda, doğru sürede ve uygun maliyetle kullanmasını gerektiren önemli bir halk sağlığı yaklaşımıdır. Ancak bu davranışın benimsenmesi yalnızca bilgi düzeyine bağlı değildir; bireyin tutumları, sosyal çevresinden aldığı mesajlar ve kendi yeterlilik algısı davranışı doğrudan şekillendirmektedir. Tüm bu nedenlerle, bireylerin davranışlarını ve bu davranışların altında yatan süreçleri daha iyi anlamaya ihtiyaç duyulmakta ve bu bağlamda çeşitli modeller kullanılabilmektedir. Bu çalışma, akılcı ilaç kullanımının davranışsal belirleyicilerini Planlı Davranış Kuramı çerçevesinde ele alarak bireylerin ilaç kullanım davranışını etkileyen psikolojik ve sosyal etmenleri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada Planlı Davranış Kuramının üç

temel bileşeni—tutumlar, öznel normlar ve algılanan davranışsal kontrol—ayrı ayrı ele alınarak akılcı ilaç kullanımı davranışına nasıl uyarlanabileceği incelenmiştir.

Tutumların bireyin ilaç kullanımına yönelik değerlendirmelerini nasıl etkilediği, öznel normların sosyal çevrenin beklentilerini davranış niyeti üzerinde nasıl belirleyici hâle getirdiği ve algılanan davranışsal kontrolün bireyin ilaç kullanımını yönetme kapasitesine olan inancını nasıl güçlendirdiği tartışılmıştır. Bulgular, akılcı ilaç kullanımını geliştirmek için yalnızca bilgi vermenin yeterli olmadığını; sosyal çevrenin rolü, bireyin kontrol algısı ve davranış niyetinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak Planlı Davranış Kuramı, akılcı ilaç kullanımını anlamada güçlü bir teorik çerçeve sunmakta; sağlık eğitimleri, toplumsal farkındalık kampanyaları ve öz-yeterliliği güçlendiren yaklaşımların bu davranışın yaygınlaştırılmasına önemli katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akılcı ilaç kullanımı, Planlı Davranış Kuramı, tutum, öznel norm, algılanan davranışsal kontrol, davranış niyeti, sağlık davranışı

Giriş

Akılcı ilaç kullanımı, bireylerin sağlık ihtiyaçlarına uygun ilacı, doğru dozda, doğru sürede ve en düşük maliyetle kullanmalarını amaçlayan temel bir halk sağlığı yaklaşımıdır. Günümüzde özellikle antibiyotiklerin gereksiz kullanımı, reçetesiz ilaç temini, tedavi sürelerine uyumsuzluk ve yan etkiler konusunda farkındalık eksikliği önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu durum yalnızca birey sağlığını değil, toplum sağlığını ve sağlık sisteminin sürdürülebilirliğini de etkilemektedir (Yılmaztürk, 2013). Akılcı ilaç kullanımını geliştirmek için bireylerin ilaçlara yönelik inançlarını, sosyal çevre etkilerini ve davranışlarını gerçekleştirme kapasitelerini anlamaya yönelik kuramsal çerçevelere ihtiyaç vardır.

Planlı Davranış Kuramı, sağlık davranışlarını açıklamada sıklıkla kullanılan ve davranışın oluşmasında niyetin temel belirleyici olduğunu savunan bir modeldir (Barutçu ve ark., 2017). Kuram; tutumlar, öznel normlar ve algılanan davranışsal kontrol olmak üzere üç temel bileşen üzerine kuruludur. Bu bileşenlerin her biri, bireyin ilaç kullanımına ilişkin kararlarını şekillendiren önemli faktörlerdir. Akılcı ilaç kullanımının teşvik edilmesi için bu model, bireysel ve çevresel etkenlerin bütüncül bir şekilde ele alınmasına olanak tanır. Bu çalışma, Planlı Davranış Kuramının akılcı ilaç kullanımı bağlamında nasıl uygulanabileceğini inceleyerek, davranış değişikliği süreçlerine yönelik kuramsal bir açıklama sunmayı amaçlamaktadır (Yılmaz ve Çıtıl, 2022).

Planlı Davranış Kuramı

Planlı Davranış Kuramı (PDK), bireyin bir davranışı gerçekleştirme olasılığını en iyi şekilde açıklayan sosyal psikolojik modellerden biridir. Kuramın temelinde, davranışı belirleyen en güçlü yapının "niyet" olduğu kabul edilir. Niyet ise üç ana unsur tarafından şekillenir: tutumlar, öznel normlar ve algılanan davranışsal kontrol. Tutumlar, bireyin davranışı olumlu ya da olumsuz değerlendirme biçimini yansıtır (Şaşmaz ve Tengilimoğlu, 2024). Öznel normlar, bireyin sosyal çevresinin beklentilerini ve davranış üzerinde hissettiği sosyal baskıyı ifade eder. Algılanan davranışsal kontrol ise bireyin davranışı yapabilme kapasitesine ilişkin inancını, yani davranış üzerindeki kontrol algısını ortaya koyar. Bu üç unsur bir araya gelerek bireyin davranışı gerçekleştirme niyetini güçlendirir ya da zayıflatır. Kuram, özellikle sağlık davranışlarının anlaşılmasında bireysel ve çevresel etkenleri birlikte değerlendirme imkânı sunduğu için geniş bir kullanım alanına sahiptir (Mercan, 2015).

Bu çerçevede, PDK'da yer alan her bir bileşenin desteklenmesi, bireyin davranış niyetinin güçlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Örneğin tutumlar, bireylere davranışın olumlu sonuçlarının açık ve anlaşılır biçimde aktarılmasıyla geliştirilebilir; sağlık eğitimleri ve bilgilendirici kampanyalar bu sürece katkı sağlar. Öznel normların güçlendirilmesi ise sosyal çevrenin ve otorite figürlerinin davranışı destekleyici mesajlar vermesiyle mümkündür. Aile üyeleri, sağlık profesyonelleri ve toplumsal kanaat önderlerinin olumlu yönlendirmeleri, bireyin davranışı benimseme isteğini artırabilir. Algılanan davranışsal kontrolün desteklenmesi içinse bireyin gerekli bilgiye, beceriye ve kaynaklara erişiminin sağlanması önemlidir. Rehberlik hizmetleri, danışmanlık ve uygulamalı eğitimler, bireyin davranışı gerçekleştirebileceğine olan inancını güçlendirmektedir. Bu tür destekleyici yaklaşımlar, kuramın öngördüğü niyet–davranış ilişkisinin daha etkili biçimde hayata geçirilmesine olanak tanır (Şaşmaz ve Tengilimoğlu, 2024).

Tutumlar

Tutumlar, bireyin belirli bir davranışı olumlu ya da olumsuz biçimde değerlendirmesini ifade eden temel psikolojik yapılardan biridir. PDK'da tutum, bireyin davranışı gerçekleştirmesi hâlinde ortaya çıkacak sonuçlara ilişkin inançları ve bu sonuçlara yüklediği değerden etkilenir. Bir başka ifadeyle kişi, davranışın kendisine yarar sağlayacağını düşünüyorsa davranışa yönelik olumlu bir tutum geliştirir; risk ya da zarar bekliyorsa tutumu olumsuz yönde şekillenir (Demir, ve Aydemir, 2025).

Tutumlar, bireyin geçmiş deneyimlerinden, içinde bulunduğu sosyal çevreden ve kişisel değerlerinden beslenir. Sağlık davranışları bağlamında tutumlar, bireyin tedaviye uyumu, ilaç kullanım tercihleri ve hastalık yönetimi gibi alanlarda önemli belirleyicidir. Olumlu tutumlar davranışa yönelik niyeti güçlendirirken, olumsuz tutumlar davranışı gerçekleştirme olasılığını

zayıflatır. Bu nedenle tutumların doğru anlaşılması, davranış değişikliği müdahalelerinin planlanmasında kritik bir öneme sahiptir (Pelit, 2024).

Bu bağlamda tutumların desteklenmesi, bireyin davranışın olumlu sonuçlarını daha net biçimde algılamasını sağlayacak bilgilendirme ve farkındalık çalışmalarıyla mümkündür. Özellikle sağlık davranışları söz konusu olduğunda, bireylere davranışın kısa ve uzun vadeli yararlarının açık, anlaşılır ve günlük yaşamla ilişkilendirilmiş örneklerle aktarılması olumlu tutumların gelişimini destekler. Eğitim programları, bilgilendirici broşürler, dijital içerikler ve sağlık profesyonelleri tarafından yapılan açıklamalar, bireyin davranışa yönelik algısını güçlendirebilir. Bunun yanı sıra, yanlış inanışların ve hatalı genellemelerin düzeltilmesi de tutumların olumlu yönde şekillenmesine katkı sağlar. Bireyin kendi deneyimlerini olumlu sonuçlarla ilişkilendirmesi ve başarılı davranış örneklerini gözlemlemesi, davranışa yüklenen değeri artırarak olumlu tutumların kalıcı hâle gelmesini kolaylaştırır. Bu tür destekleyici yaklaşımlar, davranışa yönelik niyetin güçlenmesinde önemli bir rol oynar (Yılmaz ve Doğan, 2016).

Öznel normlar

Öznel normlar, bireyin belirli bir davranışı gerçekleştirirken sosyal çevresinin beklentilerini ne ölçüde dikkate aldığını ifade eden önemli bir psikososyal bileşendir. Birey; ailesi, arkadaşları, çalışma ortamı veya sağlık profesyonelleri gibi kendisi için değer taşıyan kişilerin düşüncelerini ve davranışa yönelik tutumlarını göz önünde bulundurur. Bu kişiler davranışa onay veriyorsa bireyin davranışı gerçekleştirme niyeti güçlenir; olumsuz bir beklenti varsa niyet zayıflayabilir (Kaşdarma ve ark., 2025).

Öznel normlar, özellikle toplumsal baskının yüksek olduğu kültürlerde sağlık davranışlarını güçlü bir şekilde yönlendirir. İlaç kullanımı açısından bakıldığında, yakın çevrenin “ilaç alarak çabuk iyileşme” yönündeki telkinleri bireyin yanlış kullanım eğilimini artırabilirken, bilinçli kullanım konusunda teşvik edici bir çevre daha sağlıklı davranışların benimsenmesini kolaylaştırabilir. Bu nedenle öznel normlar, akılcı ilaç kullanımını anlamada ve müdahaleleri planlamada kritik bir faktör olarak ele alınmalıdır (Yılmaz ve ark., 2016).

Bu kapsamda öznel normların desteklenmesi, bireyin davranışı gerçekleştirmesini onaylayan ve teşvik eden sosyal mesajların güçlendirilmesiyle mümkündür. Aile üyeleri, arkadaşlar, sağlık profesyonelleri ve toplumda güven duyulan kişilerin davranışa yönelik olumlu tutumları, birey üzerinde destekleyici bir sosyal baskı oluşturabilir. Özellikle sağlık alanında, hekim, hemşire ve eczacıların bilinçli yönlendirmeleri ile “doğru davranışın” sosyal olarak kabul

gördüğünün vurgulanması, bireyin davranış niyetini güçlendirmektedir (Yılmaz ve Doğan, 2016). Bunun yanında, toplumsal farkındalık kampanyaları, kamu spotları ve sosyal medya mesajları aracılığıyla davranışın yaygın ve onaylanan bir uygulama olduğunun gösterilmesi öznel normları olumlu yönde şekillendirir. Bireyin çevresinde benzer davranışları sergileyen örnekleri gözlemlemesi, sosyal kabul algısını artırarak davranışı benimsemesini kolaylaştırır. Bu tür destekleyici sosyal çevre unsurları, öznel normların davranış üzerindeki etkisini güçlendiren önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır (Sağır ve Parlakpınar, 2014).

Algılanan davranışsal kontrol

Algılanan davranışsal kontrol, bireyin belirli bir davranışı gerçekleştirme kapasitesine ve bu davranış üzerindeki kontrolüne ilişkin inancını ifade eder. Bu kavram, bireyin davranışı ne kadar kolay ya da zor bulduğunu, gerekli kaynaklara ve becerilere sahip olup olmadığını değerlendirmesiyle şekillenir. Eğer kişi bir davranışı yapabileceğine inanıyor ve bunu destekleyecek çevresel koşullar mevcutsa, davranışa yönelik niyeti daha güçlü olur (Kaça ve ark., 2009).

Aksi durumda, yani birey yeterli bilgiye sahip değilse, sosyal destek görmüyorsa veya davranışı zorlayıcı buluyorsa niyet zayıflayabilir. Sağlık davranışları kapsamında algılanan kontrol, bireyin ilaç kullanımını yönetme, tedavi sürecini takip etme veya sağlık hizmetlerine erişim gibi konularda kendi yeterliliğini nasıl değerlendirdiğini yansıtır. Bu nedenle algılanan davranışsal kontrol, akılcı ilaç kullanımının benimsenmesinde ve sürdürülebilmesinde önemli bir psikolojik belirleyici olarak görülmektedir (Kocagöz ve Dursun, 2010).

Akılcı İlaç Kullanımı (AİK)

Akılcı İlaç Kullanımı (AİK), bireylerin sağlık sorunlarına uygun ilacı doğru dozda, doğru sürede ve en uygun maliyetle kullanmalarını hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu kavram, ilacın yalnızca gerekli olduğunda ve bilimsel kanıtlara dayalı olarak reçete edilmesini esas alır. AİK, yanlış ilaç kullanımının önlenmesi, antibiyotik direncinin azaltılması, yan etkilerin en aza indirilmesi ve sağlık kaynaklarının verimli kullanılmasını amaçlar (Şahin ve ark., 2023).

Yanlış veya gereksiz ilaç kullanımı, hem birey sağlığını riske atmakta hem de sağlık sistemine ekonomik yük getirmektedir. Bu nedenle AİK; hekim, hemşire, eczacı ve hasta arasındaki işbirliğinin önemini vurgular. Toplumun ilaçlar konusunda bilinçlendirilmesi, sağlık okuryazarlığının artırılması ve reçetesiz ilaç kullanımının sınırlandırılması AİK'nin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Akılcı ilaç kullanımının yaygınlaştırılması, hem bireysel hem de toplumsal sağlık sonuçlarının iyileştirilmesini mümkün kılacaktır (Sağır ve Parlakpınar, 2014).

Bu bağlamda akılcı ilaç kullanımının desteklenmesi, bireylerin doğru bilgiye zamanında ve güvenilir kaynaklardan ulaşmalarının sağlanmasıyla mümkündür. Sağlık profesyonellerinin hastalara ilaçların kullanım amacı, dozajı ve olası yan etkileri hakkında açık ve anlaşılır bilgilendirme yapması, bilinçli ilaç kullanım davranışını güçlendirmektedir. Eczacılar tarafından verilen danışmanlık hizmetleri, reçeteli ilaçların doğru kullanımını desteklerken reçetesiz ilaç kullanımının sınırlandırılmasına katkı sağlar (Deniz, 2019). Bunun yanı sıra, özellikle hemşireler ve toplum genelinde yürütülen eğitim programları, kamu spotları ve dijital bilgilendirme kampanyaları aracılığıyla akılcı ilaç kullanımının önemi vurgulanabilir. Okullarda ve birinci basamak sağlık hizmetlerinde verilecek sağlık okuryazarlığı eğitimleri de bireylerin ilaç kullanımına yönelik farkındalığını artırmaktadır (Şahin ve ark., 2023). Bu tür çok paydaşlı ve sürekli destekleyici yaklaşımlar, akılcı ilaç kullanımının bireysel bir tercih olmaktan çıkarak toplumsal bir davranış hâline gelmesini kolaylaştırır.

Planlı Davranış Kuramına Temelli Akılcı İlaç Kullanımı Yaklaşımı

AİK Bağlamında Tutumlar

Akılcı ilaç kullanımı bağlamında tutumlar, bireyin ilaç kullanımına ilişkin inançlarını, değerlendirmelerini ve bu davranışa yüklediği anlamı ifade eder. Bir kişinin ilaçları doğru şekilde kullanmanın faydalarına inanması, bu davranışa yönelik olumlu tutum geliştirmesini sağlar. Örneğin, gereksiz antibiyotik kullanımının zararlı olduğunu bilmek veya ilaçların bilinçsizce kullanılmasının yan etkilere yol açacağını düşünmek, bireyin daha dikkatli ve sorumlu davranmasına katkıda bulunur. Buna karşılık, “ilaç ne kadar çok alınırsa o kadar hızlı iyileşilir” gibi yanlış inanışlar olumsuz tutumların oluşmasına neden olabilir (Erkoç ve Güner, 2021).

Tutumlar, bireyin geçmiş deneyimleri, sağlık bilgisi, sosyal çevresi ve kültürel etkilerle şekillenir. Bu nedenle AİK’nın yerleşmesi için bireylerin doğru bilgilendirilmesi, olumlu tutumlarının desteklenmesi ve yanlış inanışların düzeltilmesi önemlidir. Olumlu tutumlar güçlendikçe bireyin akılcı ilaç kullanımına yönelik davranış niyeti de artmaktadır (Şahin ve ark., 2023).

Bu kapsamda akılcı ilaç kullanımına yönelik olumlu tutumların desteklenmesi, bireylere ilaç kullanımının sağlık üzerindeki etkilerinin açık ve somut biçimde aktarılmasıyla mümkündür. Sağlık profesyonelleri tarafından yapılan bireysel bilgilendirmeler, ilaçların doğru kullanılmasının tedavi başarısını nasıl artırdığına dair örneklerle desteklendiğinde tutumlar olumlu yönde güçlenmektedir (Erkoç ve Güner, 2021). Ayrıca, gereksiz ilaç kullanımının yol açabileceği yan etkiler ve uzun vadeli sağlık sorunlarının anlaşılır bir dille açıklanması, bireyin risk algısını artırarak daha temkinli davranmasını sağlar. Toplumda yaygın olan yanlış

inanışların eğitimler, broşürler ve dijital içerikler aracılığıyla düzeltilmesi de tutum değişimini destekler. Bireyin doğru ilaç kullanımına ilişkin olumlu deneyimler yaşaması ve bu davranışın faydasını doğrudan gözlemlemesi, akılcı ilaç kullanımına yüklenen değeri artırarak olumlu tutumların kalıcı hâle gelmesine katkı sunar (Yılmaztürk, 2013).

AİK Bağlamında Öznel Normlar

Akılcı ilaç kullanımı bağlamında öznel normlar, bireyin sosyal çevresinin ilaç kullanımıyla ilgili beklentilerini ve bu beklentilere uyma isteğini ifade eder. Kişi, ailesi, arkadaşları ya da sağlık profesyonelleri gibi önemli gördüğü kişilerin ilaç kullanımı konusundaki tutumlarını dikkate alarak kendi davranışını şekillendirebilir. Örneğin, yakın çevrenin "hastalanınca hemen antibiyotik alınmalı" şeklindeki yanlış yönlendirmeleri bireyin gereksiz ilaç kullanımına yönelmesine neden olabilir. Buna karşılık, bilinçli bir çevrenin "doktor önerisi olmadan ilaç kullanılmamalı" yaklaşımı bireyin akılcı ilaç kullanımını benimsemesini kolaylaştırır (Yılmaz, 2021).

Öznel normlar, bireyin sosyal ilişkilerindeki onaylanma ihtiyacı ve aidiyet duygusu ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle sosyal çevrede yerleşmiş yanlış inanışlar AİK açısından önemli bir engel oluşturabilir. Toplumsal farkındalık arttıkça ve çevresel beklentiler değiştikçe bireyin akılcı ilaç kullanımına yönelik davranış niyeti de daha olumlu yönde gelişir (Yılmaztürk, 2013).

Bu çerçevede akılcı ilaç kullanımına yönelik öznel normların desteklenmesi, sosyal çevrede doğru davranışın onaylandığına dair mesajların güçlendirilmesiyle mümkündür. Sağlık profesyonellerinin toplum nezdinde güvenilir rol modeller olarak akılcı ilaç kullanımını vurgulamaları, birey üzerinde güçlü bir sosyal etki oluşturur. Aile bireylerinin ve yakın çevrenin "ilaçlar doktor önerisiyle kullanılmalıdır" yönündeki tutarlı tutumları, bireyin davranış niyetini olumlu yönde etkileyebilir. Bunun yanında kamu spotları, sosyal medya kampanyaları ve toplumsal bilgilendirme faaliyetleri aracılığıyla akılcı ilaç kullanımının yaygın ve kabul gören bir davranış olduğunun gösterilmesi, sosyal beklentilerin dönüşmesine katkı sağlar. Bireyin çevresinde bu davranışı benimseyen örnekleri gözlemlemesi, sosyal onay algısını artırarak akılcı ilaç kullanımının benimsenmesini kolaylaştırır. Bu tür destekleyici sosyal mekanizmalar, öznel normların AİK lehine güçlenmesinde önemli bir rol oynar (Mercan, 2015).

AİK Bağlamında Algılanan Davranışsal Kontrol

Akılcı ilaç kullanımı bağlamında algılanan davranışsal kontrol, bireyin ilaç kullanım sürecini doğru şekilde yönetebilme kapasitesine ilişkin kendi değerlendirmesini ifade eder. Kişinin

ilaçları ne zaman, nasıl ve hangi dozda kullanacağını bilmesi; gerektiğinde sağlık profesyonellerine ulaşabileceğine inanması ve olası yan etkilerle başa çıkabileceğini düşünmesi bu kontrol algısını güçlendirir. Kontrol algısı yüksek olan bireyler, tedavi sürecinde daha bilinçli hareket etme eğilimindedir ve ilaç kullanım talimatlarına uyma olasılıkları daha yüksektir (Aras ve Peker, 2024).

Buna karşılık, bilgi eksikliği, sağlık hizmetlerine erişimde güçlük veya ilaçların karmaşık olduğuna dair algılar kontrol duygusunu zayıflatabilir. Akılcı ilaç kullanımını desteklemek için bireylerin kendi sağlıklarını yönetme konusunda yeterlilik hissetmeleri önemlidir. Eğitim, danışmanlık ve sağlık okuryazarlığının artırılması, bireylerin kontrol algısını güçlendiren temel unsurlardır (Deniz, 2019).

AİK Bağlamında Niyet ve Davranış

Akılcı ilaç kullanımı bağlamında niyet, bireyin ilaçları uygun şekilde kullanmaya yönelik bilinçli eğilimini ve kararını ifade eder. PDK'ya göre niyet, tutumlar, öznel normlar ve algılanan davranışsal kontrolün ortak etkisiyle oluşur ve gerçek davranışın en güçlü belirleyicisi olarak kabul edilir. Bireyin akılcı ilaç kullanımına yönelik olumlu tutum geliştirmesi, sosyal çevresinden destek görmesi ve ilaç kullanımını yönetebileceğine inanması niyetini de güçlendirir (Müjdeci, 2021).

Güçlü bir niyet oluştuğunda bireyin reçete talimatlarına uyma, dozları doğru kullanma ve gereksiz ilaçlardan kaçınma davranışı daha tutarlı hâle gelir. Ancak niyetin davranışa dönüşebilmesi için bireyin karşılaştığı engellerin azaltılması, bilgi eksikliklerinin giderilmesi ve sağlık okuryazarlığının artırılması önemlidir. Bu nedenle AİK'nın gelişimi, yalnızca davranışsal niyeti artırmakla sınırlı olmayıp, aynı zamanda bireyin bu niyeti uygulamaya koyabilmesini destekleyen koşulların güçlendirilmesini de gerektirir (Aktaş ve Selvi, 2019).

Bu bağlamda niyetin davranışa dönüşmesinin desteklenmesi, bireyin akılcı ilaç kullanımını günlük yaşamında uygulamasını kolaylaştıran koşulların güçlendirilmesiyle mümkündür. İlaç kullanımına ilişkin talimatların sade ve anlaşılır biçimde sunulması, bireyin doğru davranışı hayata geçirmesini kolaylaştırır (Yay ve Çalışkan, 2016). Sağlık profesyonelleri tarafından verilen danışmanlık hizmetleri, bireyin karşılaştığı tereddütleri gidermeye yardımcı olarak niyetin sürekliliğini destekler. Ayrıca ilaç takvimleri, hatırlatıcılar ve dijital sağlık uygulamaları gibi pratik araçlar, bireyin doğru zamanda doğru dozu kullanmasını teşvik edebilir. Sağlık okuryazarlığını artırmaya yönelik eğitimler ve bireysel rehberlik hizmetleri de davranış önündeki engellerin azaltılmasına katkı sağlar. Bu tür destekleyici yaklaşımlar, bireyin güçlü niyetini somut davranışa dönüştürmesini kolaylaştırarak akılcı ilaç kullanımının kalıcı hâle gelmesini destekler (Şahin ve Alkaya, 2017).

Sonuç

Bu çalışma, Akılcı İlaç Kullanımı davranışının Planlı Davranış Kuramı çerçevesinde nasıl açıklanabileceğini ortaya koyarak bireysel, sosyal ve psikolojik süreçlerin bu davranış üzerindeki etkisini bütüncül bir perspektifle değerlendirmiştir. Bulgular, akılcı ilaç kullanımının yalnızca bilgi düzeyiyle sınırlı olmadığını; tutumlar, öznel normlar ve algılanan davranışsal kontrolün birlikte davranış niyetini şekillendiren temel unsurlar olduğunu göstermektedir. Bireyin ilaçlara yönelik olumlu tutum geliştirmesi, yanlış inanışlardan uzaklaşması ve sağlık okuryazarlığını artırması, akılcı ilaç kullanım davranışının güçlenmesini destekleyen önemli bir etkendir. Bununla birlikte sosyal çevrede yerleşmiş normların da bireyin davranışı üzerinde belirleyici olduğu görülmektedir. Aile, arkadaş çevresi ve sağlık profesyonelleri gibi destekleyici grupların bilinçli yönlendirmeleri, bireyin davranış niyetini olumlu yönde etkileyebilir.

Algılanan davranışsal kontrolün yüksek olması ise bireyin ilaç kullanımını yönetebileceğine dair güvenini artırmakta, böylece niyetin davranışa dönüşme olasılığını yükseltmektedir. Bu nedenle akılcı ilaç kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik girişimler yalnızca bireyleri bilgilendirmekle sınırlı kalmamalı, aynı zamanda sosyal çevrenin etkilerini ve bireyin öz-yeterlilik duygusunu güçlendiren stratejileri de içermelidir.

Sonuç olarak, Planlı Davranış Kuramı akılcı ilaç kullanımını çok boyutlu bir şekilde açıklamak için güçlü bir teorik temel sunmaktadır. Eğitim programları, toplumsal farkındalık çalışmaları ve sağlık hizmetlerinde iletişim kalitesinin artırılması, hem davranış niyetini hem de uygulanabilirliği güçlendirerek toplumda akılcı ilaç kullanımını geliştirme potansiyeli taşımaktadır. Bu yaklaşım sayesinde hem bireysel sağlık sonuçları iyileşmekte hem de sağlık sisteminin sürdürülebilirliği desteklenmektedir.

Kaynaklar

1. Aktaş, H., & Selvi, H. (2019). Erişkinlerde akılcı ilaç kullanımı farkındalık ölçeğinin geliştirilmesi: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 12*(3), 439-447.
2. Aras, E., & Peker, A. (2024). Planlı davranış kuramına göre ergenlerin psikolojik yardım alma tutumu ve niyeti. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, *16*(4), 617-627.
3. Barutçu, A., Tengilimoğlu, D., & Naldöken, Ü. (2017). Vatandaşların akılcı ilaç kullanımı, bilgi ve tutum değerlendirmesi: Ankara ili metropol ilçeler örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *19*(3), 1062-1078.
4. Demir, Ö., & Aydemir, N. (2025) Depreme Hazırlık Tutum ve İnançları Ölçeği: Planlı Davranış Kuramına Dayalı Bir Ölçek Geliştirme Çalışması. *Afet ve Risk Dergisi*, *8*(1), 83-103.

5. Deniz, S. (2019). Akılcı ilaç kullanımına ilişkin tutum ve davranışların belirlenmesine yönelik bir araştırma. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 22(3), 619-632..
6. Erkoç, B., & Güner, T. A. (2021). Engelli bireye sahip ailelerin akılcı ilaç kullanımına ilişkin tutum ve davranışlarının belirlenmesi. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, *8*(1), 14-20.
7. Kaça, G., Amado, S., Kıkıcı, İ., Cilasin, S., Daě, E., & Leylek, İ. (2009). Organ Bağışına Yönelik Tutumların Planlı Davranış Kuramı Çerçevesinde İncelenmesi. *Turkish Journal of Psychology/Türk Psikoloji Dergisi*, *24*(64).
8. Kaşdarma, E., Dursun, A., & Yeniçırak, Ç. G. (2025). PLANLI DAVRANIŞ KURAMI VE DEĞER-İNANÇ-NORM KURAMI KAPSAMINDAKİ DEĞİŞKENLERE İLİŞKİN ÖLÇEKLERİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAĞLAMINDA GELİŞTİRİLMESİ: GEÇERLİK VE GÜVENİRLİK ÇALIŞMASI. *Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *26*(49), 739-766.
9. Kocagöz, E., & Dursun, Y. (2010). Algılanan Davranışsal Kontrol, Ajzen'in Teorisinde Nasıl Konumlanır? Alternatif Model Analizleri. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 2010(2), 139-152.
10. Mercan, N. (2015). Ajzen'in planlanmiş davraniş teorisi bağlaminda whistleblowing (bilgi ifşasi). *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, *7*(2), 1-14.
11. Müjdeci, S. (2021). Planlı Davranış Teorisi Bağlamında Kur'an'da Niyet. *Journal of Analytic Divinity*, *5*(1), 89-110.
12. Pelit, İ. (2024). Afet Lojistiği Sorunları ve Çözüm Önerileri: *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Alanında Uluslararası Araştırmalar XXV*, *195*.
13. Sağır, M., & Parlakpınar, H. (2014). Akılcı ilaç kullanımı. *Annals of Health Sciences Research*, *3*(2), 32-35.
14. Şahin, F., & Alkaya, A. (2017). Tüketicilerin çevrimiçi şikâyet kanallarını kullanımına yönelik davranışlarının: teknoloji kabul modeli ve planlı davranış teorisi bütünleşik modeli bakış açısı ile incelenmesi. *PESA Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, *3*(4), 87-103.
15. Şahin, N., Çakmak, N. C. S., & Sönmez, D. Z. (2023). Toplumun akılcı ilaç kullanımına ilişkin bilgi ve uygulamalarının belirlenmesi: Çankırı İli Örneği. *Avrasya Sağlık Bilimleri Dergisi*, *6*(1), 21-29.
16. Şaşmaz, Z., & Tengilimoğlu, E. (2024). Planlı Davranış Teorisi Bağlamında Gerçekleştirilen Çalışmaların Sistematik Değerlendirmesi; Dergi Park Örneği. *Selçuk Turizm ve Bilişim Araştırmaları Dergisi*, (5), 23-35.
17. Yay, Ö., & Çalışkan, O. (2016). Planlı davranış teorisi bağlamında çevreci otel restoranında yemek yeme niyeti. *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi*, *13*(2).
18. Yılmaz, H., & Çıtıl, R. (2022). Üniversite hastanesine başvuran hastalarda akılcı ilaç kullanımı ve etkileyen faktörler. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, *31*(3), 161-171.

19. Yılmaz, K. (2021). Sosyal bilimlerde ve eğitim bilimlerinde sistematik derleme, meta değerlendirme ve bibliyometrik analizler. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, *10*(2), 1457-1490.
20. Yılmaz, V., & Doğan, A. G. M. (2016). Planlanmış davranış teorisi kullanılarak önerilen bir yapısal eşitlik modeli ile geri dönüşüm davranışlarının araştırılması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *16*(Özel Sayı), 191-206.
21. Yılmaztürk, A. (2013). Türkiye'de ve Dünyada Akılcı İlaç Kullanımı. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2(2), 42-49.

FDM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN PETG MALZEMELİ PARÇALARDA PROSES PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL MODELLENMESİ

Prof. Dr. Fuat KARTAL
Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
fkartal@kastamonu.edu.tr - 0000-0002-2567-9705

Dr. Öğr. Üyesi Arslan KAPTAN
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi
akaptan@cumhuriyet.edu.tr- 0000-0002-2431-9329

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, 3B yazıcıda üretim yöntemlerinden biri olan Fused Deposition Modeling (FDM) teknolojisi kullanılarak imal edilen Polietilen Tereftalat Glikol (PETG) malzemeli numunelerin yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri üzerinde kritik üretim parametrelerinin etkisini incelemek ve bu ilişkiyi tahmin eden matematiksel bir model geliştirmektir. Çalışma kapsamında katman kalınlıkları (LT= 0.1–0.3 mm), baskı hızları (PS= 30–80 mm/s) ve nozul sıcaklıkları (NT= 230–250°C) değişkenleri esas alınarak oluşturulan veri seti üzerinde çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçları, proses parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasında istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü bir ilişki (R^2= 0.992) olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen bulgulara göre, yüzey pürüzlülüğünü artıran en baskın faktörün katman kalınlığı olduğu, bunu baskı hızının takip ettiği belirlenmiştir. Nozul sıcaklığının azalmasının ise yüzey kalitesini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, Ra için ampirik bir tahmin denklemi türetilmiştir. Bu güçlü model, endüstriyel uygulamalarda istenen yüzey kalitesine ulaşmak için gerekli parametre optimizasyonuna pratik bir katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmenin baskı sürelerini arttırdığı bilinmektedir. Böylece bu çalışma baskı süresini de optimize etmenin bir yolu olarak da değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: FDM, PETG, Yüzey Pürüzlülüğü, Regresyon Analizi, Parametre Optimizasyonu.

STATISTICAL MODELING OF THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS IN PETG MATERIAL PARTS PRODUCED BY FDM METHOD

Prof. Dr. Fuat KARTAL
Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering
fkartal@kastamonu.edu.tr - 0000-0002-2567-9705

Assist Prof. Arslan KAPTAN
Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational School, Rail Systems Machine Technology
akaptan@cumhuriyet.edu.tr - 0000-0002-2431-9329

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effect of critical manufacturing parameters on the surface roughness (Ra) values of Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) samples manufactured using Fused Deposition Modeling (FDM), one of the 3D printing methods, and to develop a mathematical model that predicts this relationship. Multiple nonlinear regression analysis was applied to a dataset created based on the variables of layer thickness (LT = 0.1–0.3 mm), printing speed (PS = 30–80 mm/s), and nozzle temperature (NT = 230–250°C). The analysis results revealed a statistically significant and strong relationship ($R^2 = 0.992$) between process parameters and surface roughness. According to the findings, the most dominant factor increasing surface roughness was determined to be layer thickness, followed by printing speed. Decreasing nozzle temperature was found to improve surface quality. As a result of the study, an empirical prediction equation for Ra was derived. This robust model provides a practical contribution to parameter optimization necessary for achieving the desired surface quality in industrial applications. On the other hand, it is known that achieving better surface quality increases printing times. Thus, this study can also be considered a way to optimize printing time.

Keywords: FDM, PETG, Surface Roughness, Regression Analysis, Parameter Optimization.

1. GİRİŞ

Katmanlı imalat teknolojileri, karmaşık geometrilerin üretilebilmesi, hızlı prototipleme olanağı ve düşük üretim maliyetleri gibi avantajları nedeniyle son yıllarda endüstriyel ve akademik alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhou vd., 2024; Karakoç, 2024; Fidan vd., 2024). Bu teknolojiler arasında yer alan Fused Deposition Modeling (FDM), termoplastik filamentlerin ergitilerek katman katman biriktirilmesi esasına dayanan, en yaygın ve erişilebilir katmanlı imalat yöntemlerinden biridir (Sapkota vd., 2024; Mallikarjuna vd., 2025; Massaroni vd., 2025).

FDM yöntemiyle üretilen parçaların yüzey kalitesi, katmanlı yapıdan kaynaklanan merdiven etkisi, ergiyik akış davranışı ve soğuma koşulları nedeniyle geleneksel imalat yöntemlerine kıyasla genellikle daha düşüktür (Omer vd., 2025). Yüzey pürüzlülüğü; parçaların mekanik performansını, montaj kabiliyetini, aşınma davranışını ve estetik özelliklerini doğrudan etkileyen kritik bir kalite parametresidir (Cabral vd., 2025). Ramesh vd., 2024). Bu nedenle FDM sürecinde yüzey pürüzlülüğünün kontrol altına alınması, yöntemin endüstriyel uygulamalardaki yaygınlığını artırmak açısından büyük önem taşımaktadır. (Carta vd., 2025; Subramani vd., 2025; Ziadia vd., 2025).

PETG malzemesi; düşük büzülme oranı, iyi mekanik özellikleri ve kimyasal dayanımı sayesinde FDM uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Kumaresan vd., 2025; Patel vd., 2024; Iacob vd., 2024). Ancak PETG'nin FDM sürecindeki yüzey pürüzlülüğü davranışının, proses parametreleri ile olan ilişkisini nicel olarak açıklayan istatistiksel modeller literatürde sınırlı sayıdadır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

Literatürde FDM ile üretilen parçaların yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametreler üzerine çok sayıda deneysel çalışma bulunmaktadır. (El Mehtedi vd., 2024; Yadav vd., 2024.a; Yadav vd., 2024.b; Tran vd., 2025; Ziadia vd., 2025). Genel olarak katman kalınlığının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en baskın etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir. Katman kalınlığındaki artış, merdiven etkisini artırarak yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Baskı hızının artması, ergiyik filamentin yüzeye yeterince düzgün yerleşememesine ve katmanlar arası bağlanmanın zayıflamasına neden olmaktadır (Omer vd., 2025). Nozul sıcaklığının artırılması ise malzeme viskozitesini düşürerek daha kararlı bir akış sağlamakta ve yüzey kalitesini iyileştirmektedir (Wu vd., 2024; Krishnanand ve Taufik, 2025).

Ancak mevcut çalışmaların büyük bir kısmı, deneysel karşılaştırmalarla sınırlı kalmakta; güvenilir ve yüksek doğruluğa sahip istatistiksel tahmin modelleri yeterince ele alınmamaktadır. Özellikle PETG malzemesi için, proses parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak modelleyen ve yüksek doğruluk sunan çalışmaların sayısı sınırlıdır. Bu bağlamda, PETG özelinde geliştirilecek istatistiksel modellerin literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda Çizelge 1'de fiziksel ve termal özellikleri verilen Polietilen Tereftalat Glikol (PETG) esaslı termoplastik filament kullanılmıştır. PETG, FDM uygulamalarında yaygın olarak tercih edilen bir malzeme olup düşük büzülme oranı, iyi mekanik dayanım ve yüksek kimyasal direnç gibi avantajlara sahiptir. Çalışmada kullanılan PETG filamentin nominal çapı 1,75 mm'dir.

Çizelge 1. PETG filamentin fiziksel ve termal özellikleri

Özellik	**Birim**	**Değer**
Filament çapı	mm	1,75
Yoğunluk	g/cm³	1,27
Cam geçiş sıcaklığı (Tg)	°C	80–85
Önerilen nozul sıcaklığı	°C	220–260
Önerilen Tabla sıcaklığı	°C	70–90

2.2. Deney Düzeneği ve 3B Yazıcı Özellikleri

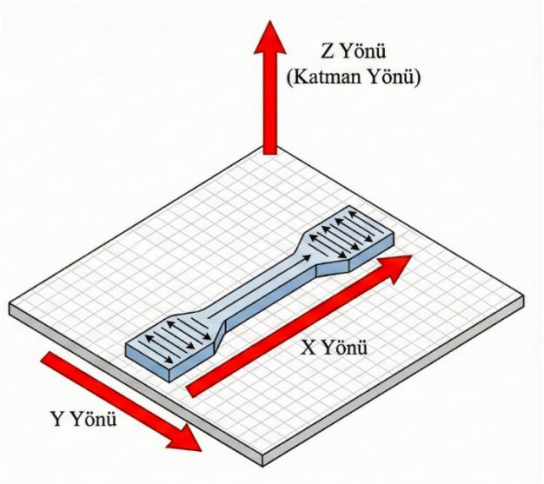
Numunelerin üretimi, teknik özellikleri Çizelge 2'de verilen Fused Deposition Modeling (FDM) prensibiyle çalışan masaüstü tip bir üç boyutlu yazıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazıcı, pirinç nozul ile donatılmış olup nozul sıcaklığı, baskı hızı ve katman kalınlığı gibi temel proses parametrelerinin hassas biçimde kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır. Deneyler, sabit ortam sıcaklığına sahip laboratuvar koşullarında yürütülmüştür.

Çizelge 2. Numune baskısında kullanılan FDM yazıcının teknik özellikleri

Özellik	**Birim**	**Değer**
Nozul çapı	mm	0,4
Maksimum nozul sıcaklığı	°C	260
Tabla tipi	–	Isıtmalı cam tabla
Konumlandırma hassasiyeti	mm	±0,01
Filament besleme	–	Direkt tahrik

2.3. Numune Geometrisi ve Baskı Yönü

Deney numuneleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümlerine uygun olacak şekilde prizmatik geometride tasarlanmıştır. Tüm numuneler, baskı yönü ve katman istifleme düzeninin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini elimine etmek amacıyla Görsel 1'de verildiği gibi aynı baskı yönünde (Z ekseni boyunca) üretilmiştir.



Görsel 1. FDM yöntemiyle üretilen PETG numunesinin geometrisi ve baskı yönü

2.4. Proses Parametreleri ve Deney Tasarımı

Çalışmada yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu bilinen Çizelge 3'de verildiği gibi üç temel proses parametresi dikkate alınmıştır: katman kalınlığı (LT), baskı hızı (PS) ve nozul sıcaklığı (NT). Parametre aralıkları, literatür çalışmaları ve PETG filament üretici tavsiyeleri doğrultusunda belirlenmiştir (Tunçel vd., 2024; Batista, vd., 2024; Barrios vd., 2019.a; Barrios vd., 2019.b; Ekrem ve Yılmaz, 2025).

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan proses parametreleri ve seviyeleri

Parametre	Sembol	Birim	Alt Seviye	Orta Seviye	Üst Seviye
Katman kalınlığı	LT	mm	0,10	0,20	0,30
Baskı hızı	PS	mm/s	30	55	80
Nozul sıcaklığı	NT	°C	230	240	250

Deneysel çalışmada, doluluk oranı %100, tabla sıcaklığı 80 C, soğutma fanı sabit hızda ve baskı yönü z ekseni olacak şekilde seçilmiştir.

2.5. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemi

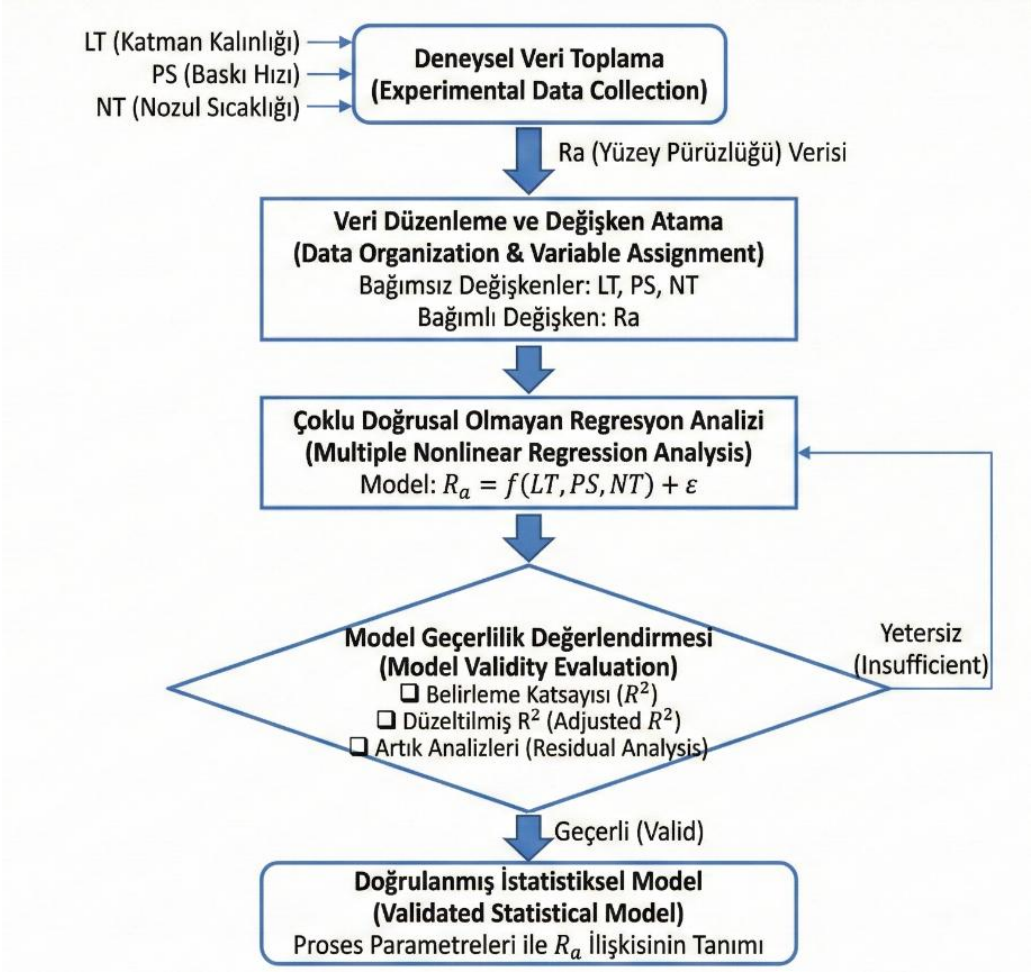
Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, temaslı tip bir yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde aritmetik ortalama pürüzlülük değeri (Ra) esas alınmıştır. Her bir numune için ölçümler Çizelge 4'de verildiği gibi aynı yüzeyden ve aynı yönde alınmıştır.

Çizelge 4. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm parametreleri

Parametre	Birim	Değer
Ölçüm uzunluğu	mm	4,0
Kesme uzunluğu	mm	0,8
Ölçüm tekrarı	–	3
Değerlendirilen parametre	–	Ra

2.6. İstatistiksel Analiz Yöntemi

Deneysel veriler üzerinde, proses parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi tanımlamak amacıyla çoklu doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanmıştır. Analizlerde bağımlı değişken olarak Ra, bağımsız değişkenler olarak LT, PS ve NT seçilmiştir. Modelin geçerliliği; belirleme katsayısı (R^2), düzeltilmiş R^2 ve artık analizleri (residual analysis) ile değerlendirilmiştir (Görsel 2).



Görsel 2. Deneysel analiz ve istatistiksel modelleme akış diyagramı

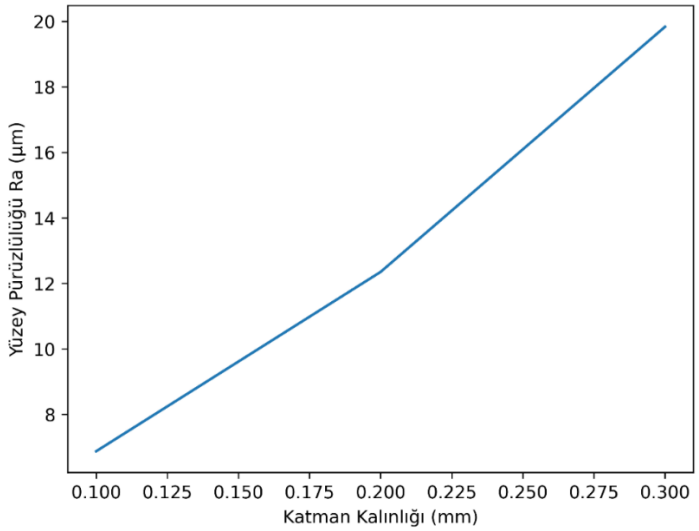
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Deneysel Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Deneysel ölçümler sonucunda elde edilen Ra değerleri, katman kalınlığı, baskı hızı ve nozul sıcaklığına bağlı olarak belirgin farklılıklar göstermiştir. Görsel 3'de sunulan sonuçlar incelendiğinde, katman kalınlığındaki artışın yüzey pürüzlülüğü üzerinde en baskın etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir. Katman kalınlığının 0,10 mm'den 0,30 mm'ye çıkarılmasıyla, ortalama Ra değerlerinin yaklaşık üç katına kadar arttığı belirlenmiştir. Bu durum, FDM sürecine özgü merdiven etkisinin yüzey geometrisi üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Benzer sonuçlar, literatürde FDM ile üretilen farklı termoplastik malzemeler için de elde edilmiştir.

3.2. Katman Kalınlığının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Görsel 3'te katman kalınlığı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, katman kalınlığı arttıkça Ra değerlerinin doğrusal eğilimle yükseldiği görülmektedir. İnce katman kalınlıklarında, katmanlar arası yükseklik farklarının azalması sayesinde yüzey daha düzgün bir geometriye sahip olmaktadır. Bu bulgu, katman kalınlığının yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin diğer proses parametrelerine kıyasla daha baskın olduğunu göstermektedir. Ancak katman kalınlığının azaltılması, baskı süresini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu durum, yüzey kalitesi ile üretim süresi arasında kaçınılmaz bir optimizasyon gerekliliğini ortaya koymaktadır.

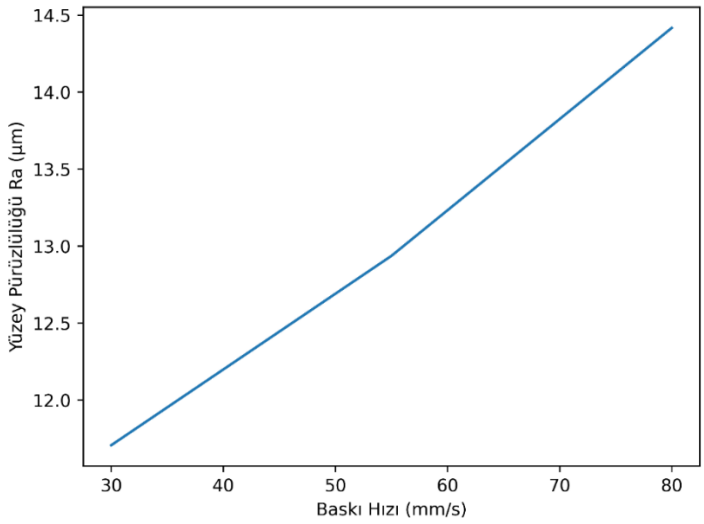


Görsel 3. Katman kalınlığının Ra üzerindeki etkisi

3.3. Baskı Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Baskı hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Görsel 4'te sunulmuştur. Baskı hızının artmasıyla birlikte Ra değerlerinde düzenli bir artış gözlemlenmiştir. Düşük baskı hızlarında ergiyik filamentin yüzeye daha kontrollü bir şekilde yerleştiği ve katmanlar arası bağlanmanın daha homojen gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yüksek baskı hızlarında ise filamentin yüzey üzerinde yeterli yayılma süresi bulamaması, mikro boşlukların ve düzensizliklerin oluşmasına neden olmuştur. Bu durum, yüzey pürüzlülüğünün artmasına yol açmaktadır. Elde edilen bulgular, baskı hızının yüzey kalitesi üzerindeki etkisini vurgulayan önceki çalışmalarla uyumludur (Pérez vd., 2018; Raja vd., 2024; Shabeeb vd., 2025).

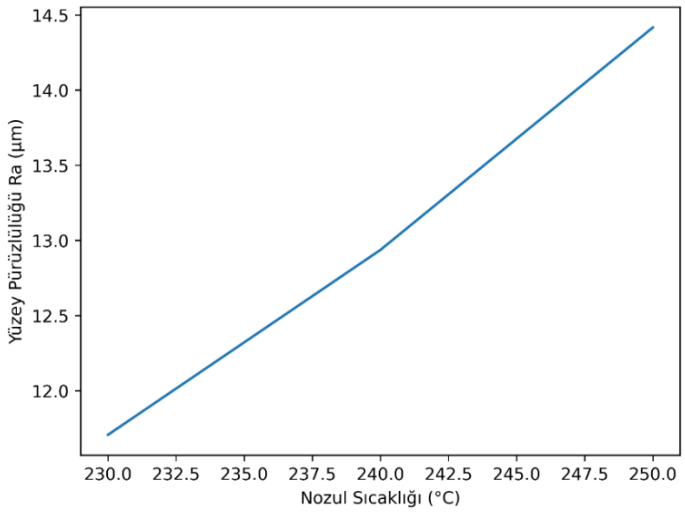
.



Görsel 4. Baskı hızının Ra üzerindeki etkisi

3.4. Nozul Sıcaklığının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Nozul sıcaklığının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Görsel 5'te gösterilmektedir. Nozul sıcaklığının artırılmasıyla birlikte Ra değerlerinde azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Artan sıcaklık, PETG malzemenin viskozitesini düşürerek daha düzgün bir akış sağlamış ve katmanlar arası füzyonu iyileştirmiştir. Ancak nozul sıcaklığının belirli bir değerin üzerine çıkarılması, malzeme bozunması ve ipliklenme (stringing) gibi olumsuz etkiler doğurabileceğinden, sıcaklık artışının kontrollü yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen sıcaklık aralığında, yüzey kalitesi açısından en uygun sonuçlar üst seviye sıcaklıklarda elde edilmiştir.

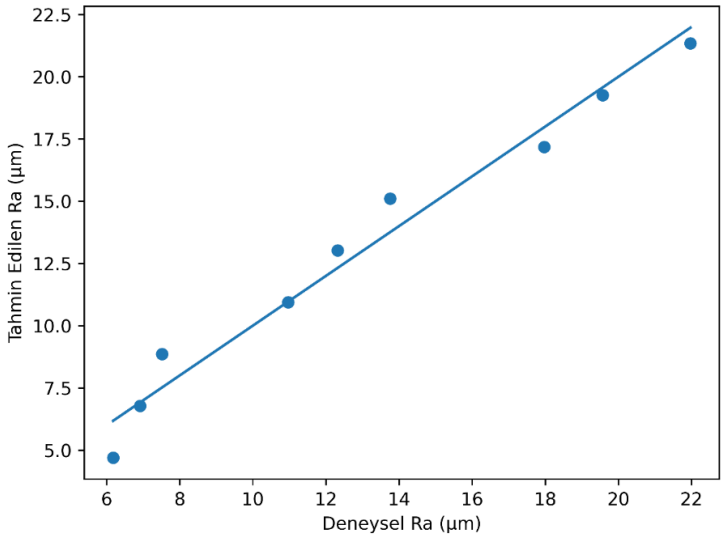


Görsel 5. Nozul sıcaklığının Ra üzerindeki etkisi

3.5. Regresyon Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Geliştirilen çoklu doğrusal olmayan regresyon modeli, deneysel sonuçlarla yüksek uyum göstermiştir. Modelin belirleme katsayısının (R^2 = 0,992) yüksek olması, yüzey

pürüzlülüğündeki değişimin büyük bir kısmının seçilen proses parametreleri tarafından açıklandığını göstermektedir. Görsel 6'da deneysel ve tahmin edilen Ra değerlerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Noktaların ideal doğrultu etrafında yoğunlaşması, modelin yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Artık analizleri, modelde sistematik bir hata bulunmadığını doğrulamıştır.



Görsel 6. Deneysel ve tahmin edilen Ra değerlerinin karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, FDM yöntemi ile üretilen PETG malzemeli parçaların yüzey pürüzlülüğü üzerinde katman kalınlığı, baskı hızı ve nozul sıcaklığının etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Katman kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili proses parametresi olarak belirlenmiştir. Katman kalınlığındaki artış, FDM sürecine özgü merdiven etkisini artırarak Ra değerlerinin önemli ölçüde yükselmesine neden olmuştur.
- Baskı hızının artması, ergiyik filamentin yüzeye yerleşme kalitesini olumsuz etkilemiş ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır.
- Nozul sıcaklığının artırılması, PETG malzemenin akış özelliklerini iyileştirerek katmanlar arası bağlanmayı güçlendirmiş ve yüzey pürüzlülüğünün azalmasına katkı sağlamıştır.
- Deneysel veriler kullanılarak geliştirilen çoklu regresyon modeli, yüksek bir belirleme katsayısı ($R^2 = 0,992$) ile yüzey pürüzlülüğünü güvenilir biçimde tahmin edebilmiştir.
- Elde edilen ampirik model, FDM proses parametrelerinin yüzey kalitesine bağlı olarak optimize edilmesine olanak tanıyan pratik ve uygulanabilir bir araç sunmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Zhou, L., Miller, J., Vezza, J., Mayster, M., Raffay, M., Justice, Q., ... & Bernat, J. Additive manufacturing: a comprehensive review. Sensors, 24(9), 2668, 2024.

2. Karakoç, A. A toolpath generator based on signed distance fields and clustering algorithms for optimized additive manufacturing. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 8(5), 199, 2024.

3. Fidan, I., Alshaikh Ali, M., Naikwadi, V., Gudavasov, S., Mahmudov, M., Mohammadizadeh, M., ... & Sharma, A. Nano-Level Additive Manufacturing: Condensed Review of Processes, Materials, and Industrial Applications. Technologies, 12(7), 117, 2024.

4. Sapkota, A., Ghimire, S. K., & Adanur, S. A review on fused deposition modeling (FDM)-based additive manufacturing (AM) methods, materials and applications for flexible fabric structures. Journal of Industrial Textiles, 54, 15280837241282110, 2024.

5. Mallikarjuna, B., Bhargav, P., Hiremath, S., Jayachristiyan, K. G., & Jayanth, N. A review on the melt extrusion-based fused deposition modeling (FDM): background, materials, process parameters and military applications. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 19(2), 651-665, 2025.

6. Massaroni, C., Saroli, V., Aloqalaa, Z., Presti, D. L., & Schena, E. Extrusion-Based Fused Deposition Modeling for Printing Sensors and Electrodes: Materials, Process Parameters, and Applications. SmartMat, 6(4), e70027, 2025.

7. Omer, M. A., Shaban, I. A., Mourad, A. H., & Hegab, H. Advances in interlayer bonding in fused deposition modelling: a comprehensive review. Virtual and Physical Prototyping, 20(1), e2522951, 2025.

8. Cabral, J. V. A., Alvares, A. J., Facciolli, A. C. D. C., & Carvalho, G. C. D. A Case Study on DNN-Based Surface Roughness QA Analysis of Hollow Metal AM Fabricated Parts in a DT-Enabled CW-GTAW Robotic Manufacturing Cell. Sensors, 26(1), 4, 2025.

9. Ramesh, M., Niranjana, K., Bhoopathi, R., & Rajeshkumar, L. Additive (2025). manufacturing (3D printing) technologies for fiber-reinforced polymer composite materials: A review on fabrication methods and process parameters. e-Polymers, 24(1), 20230114, 2024.

10. Carta, M., Loi, G., El Mehtedi, M., Buonadonna, P., & Aymerich, F. Improving Surface Roughness of FDM-Printed Parts Through CNC Machining: A Brief Review. Journal of Composites Science, 9(6), 296, 2025.

11. Subramani, R., Leon, R. R., Nageswaren, R., Rusho, M. A., & Shankar, K. V. Tribological performance enhancement in FDM and SLA additive manufacturing: Materials, mechanisms, surface engineering, and hybrid strategies—A holistic review. Lubricants, 13(7), 298, 2025.

12. Ziadia, A., Habibi, M., & Kelouwani, S. Digital twin-driven real-time optimization of layer-specific surface roughness in FDM 3D printing. Progress in Additive Manufacturing, 10(11), 10053-10076, 2025.

13. Kumaresan, R., Kadirgama, K., Samykano, M., Harun, W. S. W., Thirugnanasambandam, A., & Kanny, K. In-depth study and optimization of process parameters to enhance tensile and compressive strengths of PETG in FDM technology. Journal of Materials Research and Technology, 37, 397-416, 2025.

14. Patel, K. S., Shah, D. B., Joshi, S. J., Aldawood, F. K., & Kchaou, M. Effect of process parameters on the mechanical performance of FDM printed carbon fiber reinforced PETG. Journal of Materials Research and Technology, 30, 8006-8018, 2024.

15. Iacob, D. V., Zisopol, D. G., & Minescu, M. Technical-Economical Study on the Optimization of FDM Parameters for the Manufacture of PETG and ASA Parts. Polymers, 16(16), 2260, 2024.

16. El Mehtedi, M., Buonadonna, P., El Mohtadi, R., Loi, G., Aymerich, F., & Carta, M. Optimizing milling parameters for enhanced machinability of 3D-printed materials: an analysis of PLA, PETG, and carbon-fiber-reinforced PETG. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 8(4), 131, 2024.

17. Yadav, K., Rohilla, S., Ali, A., Yadav, M., & Chhabra, D. Effect of speed, acceleration, and jerk on surface roughness of FDM-fabricated parts. Journal of Materials Engineering and Performance, 33(14), 6998-7007, 2024.

18. Yadav, A., Prakash, B. P., Dileep, K. S., Rao, S. A., & Kumar, G. V. An experimental examination on surface finish of FDM 3D printed parts. Materials Today: Proceedings, 115, 148-155, 2024.

19. Tran, N. H., & Phan, N. D. M. Analyzing the impact of process parameters on surface roughness and mechanical properties in FDM 3D printing using machine learning. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 1-20, 2025.

20. Ziadia, A., Habibi, M., & Kelouwani, S. Digital twin-driven real-time optimization of layer-specific surface roughness in FDM 3D printing. Progress in Additive Manufacturing, 10(11), 10053-10076, 2025.

21. Wu, S., Wang, Z., Cai, Y., Chen, Y., Xian, Z., Luo, Y., ... & Sun, C. The research on nozzles for microscale printing of high viscosity pastes containing micron-sized particles. Journal of Manufacturing Processes, 125, 226-238, 2024.

22. Krishnanand, & Taufik, M. Surface roughness investigation of 3D printed parts via in-situ pellet-filament co-extrusion process. Materials and Manufacturing Processes, 40(8), 1029-1048, 2025.

23. Tunçel, O., Kahya, Ç., & Tüfekci, K. Optimization of Flexural Performance of PETG Samples Produced by Fused Filament Fabrication with Response Surface Method. Polymers, 16, 2020, 2024.

24. Batista, B., Simoes, S., Silva, A. M. A., Monteiro, J., & Vilarinho, P. Enhancing Wear Resistance and Surface Roughness of PLA and PETG 3D Printed Parts by Applying a High-Performance Polymeric Coating. Applied Sciences, 14(19), 8985, 2024.

25. Barrios, J. M., & Romero, P. E. Decision Tree Methods for Predicting Surface Roughness in Fused Deposition Modeling Parts. Materials, 12(16), 2574, 2019.

26. Barrios, J. M., & Romero, P. E. Optimization for Surface Finish and Mechanical Strength in Fused Deposition Modeling (FDM) with Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG). Materials, 12(15), 2499, 2019.

27. Ekrem, M., & Yılmaz, M. Mechanical Properties of PLA, PETG, and ABS Samples Printed on a High-Speed 3D Printer. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 161–174, 2025.

28. Pérez, M., Medina-Sánchez, G., García-Collado, A., Gupta, M., & Carou, D. Surface Quality Enhancement of Fused Deposition Modeling (FDM) Printed Samples Based on the Selection of Critical Printing Parameters. Materials, 11(8), 1382, 2018.

29. Raja, S., Jayalakshmi, M., Rusho, M. A., Selvaraj, V. K., Subramanian, J., Yishak, S., Arun Kumar, T. Fused deposition modeling process parameter optimization on the development of graphene enhanced polyethylene terephthalate glycol. Scientific Reports, 14, 30744, (2024).

30. Shabeeb, A. H., Abdulwahhab, A. B., Ismael, H. S., & Ghazi, S. K. Optimization of fused deposition modeling parameters to enhance tensile strength and surface roughness of polyethylene terephthalate glycol. Advances in Science and Technology Research Journal, 19(8), 345–358, 2025.

YÜKSEK HIZLI 3B YAZICI KULLANILARAK FDM BASKI SÜREÇLERİNDE HİGROSKOPİK MALZEMELERİN (PETG/TPU) STABİLİZASYONU

Prof. Dr. Fuat KARTAL
Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
fkartal@kastamonu.edu.tr - 0000-0002-2567-9705

Dr. Öğr. Üyesi Arslan KAPTAN
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi
akaptan@cumhuriyet.edu.tr- 0000-0002-2431-9329

ÖZET

Üç boyutlu yazıcı filament malzemeleri arasında Polietilen Tereftalat Glikol (PETG) ve Termoplastik Poliüretan (TPU), mühendislik uygulamalarında sıklıkla tercih edilen ancak yüksek higroskopik (nem çekici) özellik gösteren polimerlerdir. Bu çalışma, Flashforge Adventurer 5M Pro gibi yüksek hızlı 3B FDM yazıcılarda, bu malzemelerin nem kaynaklı baskı hatalarını minimize etme yöntemlerini incelemektedir. Çalışmada, PTC ısıtma kontrol teknolojisine sahip filament kurutma cihazı (Creality Space Pi Filament Dryer Plus) kullanılmıştır. Uygulamada PETG ve TPU malzemeli filamentlerde en sık karşılaşılan sorunlar sırasıyla ipliklenme (stringing) ve köpürme (foaming) olarak bilinmektedir ve nem alma yöntemi ile etkili bir şekilde çözülebilmektedir. Sonuçlar, filament malzemelerinin baskı sırasında aktif olarak kurutulmasının (Active Drying), parça bütünlüğünü, yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluğu kritik seviyede artırdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: FDM 3B Baskı, Higroskopi, Filament Kurutma, PETG, TPU, Yüksek Hızlı Baskı, Yüzey Kalitesi.

STABILIZATION OF HYGROSCOPIC MATERIALS (PETG/TPU) IN FDM PRINTING PROCESSES USING HIGH-SPEED 3D PRINTERS

Prof. Dr. Fuat KARTAL
Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering
fkartal@kastamonu.edu.tr - 0000-0002-2567-9705

Assist Prof. Arslan KAPTAN
Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational School, Rail Systems Machine Technology
akaptan@cumhuriyet.edu.tr - 0000-0002-2431-9329

ABSTRACT

Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) and Thermoplastic Polyurethane (TPU) are polymers frequently preferred in engineering applications among 3D printer filament materials, but they exhibit high hygroscopic (moisture-bsorbing) properties. This study investigates methods to minimize moisture-induced printing errors with these materials in high-speed 3D FDM printers such as the Flashforge Adventurer 5M Pro. A filament drying device with PTC heating control technology (Creality Space Pi Filament Dryer Plus) was used in the study. The most common problems encountered with PETG and TPU filaments in practice are stringing and foaming, respectively, and can be effectively solved with dehumidification. The results show that actively drying the filament materials during printing (Active Drying) critically improves part integrity, surface quality, and dimensional accuracy.

Keywords: FDM 3D Printing, Hygroscopicity, Filament Drying, PETG, TPU, High-Speed Printing, Surface Quality.

1. GİRİŞ

Eritilmiş Biriktirme Modelleme (Fused Deposition Modeling – FDM) teknolojisi, düşük maliyet, tasarım esnekliği ve hızlı prototipleme kabiliyeti nedeniyle eklemeli imalat yöntemleri arasında en yaygın kullanılan üretim tekniklerinden biri hâline gelmiştir. Son yıllarda, baskı hızlarının artırılmasına yönelik geliştirilen yeni nesil 3B yazıcı sistemleri, üretim sürelerini önemli ölçüde azaltırken, süreç parametrelerine ve malzeme özelliklerine olan hassasiyeti de aynı oranda artırmıştır. Bu bağlamda, yüksek hızlı FDM yazıcılarda kullanılan filamentlerin termal, reolojik ve çevresel davranışları, nihai parça kalitesini doğrudan etkileyen kritik faktörler arasında yer almaktadır (Kantaros vd., 2025; Tao vd., 2025; Vanaei vd., 2024).

Polietilen Tereftalat Glikol (PETG) ve Termoplastik Poliüretan (TPU), FDM teknolojisinde sıklıkla tercih edilen mühendislik polimerleri arasında bulunmaktadır. PETG, iyi mekanik dayanım, kimyasal direnç ve baskı kolaylığı sunarken; TPU, esnekliği, darbe dayanımı ve aşınma direnci sayesinde fonksiyonel ve elastomerik parça üretiminde öne çıkmaktadır (Mishra vd., 2025; Kumar vd., 2024; Dastnaei, 2025). Bununla birlikte, her iki malzeme de yüksek higroskopik özellik göstermekte ve çevresel nemi bünyelerine hızla absorbe edebilmektedir. Filamentlerde biriken nem, baskı sırasında eriyik polimer içerisinde buharlaşarak gaz boşlukları, yüzey pürüzlülüğü ve katmanlar arası zayıf bağlanma gibi kalite kusurlarına neden olmaktadır (Przekop, 2025). Yüksek hızlı FDM baskı süreçlerinde bu olumsuz etkiler daha belirgin hâle gelmektedir. Artan ekstrüzyon hızları ve kısa termal denge süreleri, nemin kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmasını zorlaştırmakta; bu durum PETG filamentlerde ipliklenme (stringing), TPU filamentlerde ise köpürme (foaming), düzensiz ekstrüzyon ve boyutsal sapmalar gibi hatalara yol açmaktadır (Sun vd., 2025). Dolayısıyla, higroskopik filamentlerin baskı öncesinde ve baskı esnasında uygun şekilde şartlandırılması, süreç kararlılığı açısından zorunlu bir gereklilik hâline gelmiştir .

Literatürde filament kurutma işlemleri çoğunlukla baskı öncesi pasif kurutma yöntemleri ile ele alınmıştır. Ancak bu yaklaşımlar, özellikle uzun süreli ve yüksek hızlı baskılarda filamentin tekrar nem kazanması nedeniyle yetersiz kalabilmektedir. Son dönemde geliştirilen PTC (Positive Temperature Coefficient) kontrollü aktif filament kurutma sistemleri, baskı süreci boyunca sabit sıcaklık ve kontrollü nem ortamı sağlayarak filament stabilizasyonunda önemli avantajlar sunmaktadır (Erlina vd.,2024; Barmpakos ve Kaltsas, 2021). Buna rağmen, yüksek hızlı FDM yazıcılarla entegre aktif kurutma uygulamalarının PETG ve TPU gibi higroskopik malzemeler üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar sınırlı sayıdadır (Hamrol vd., 2023; Lendvai vd., 2025; Oliinyk vd., 2024; Gong vd., 2025;).

Bu çalışmanın amacı, yüksek hızlı bir FDM yazıcı platformu kullanılarak PETG ve TPU filamentlerin nem kaynaklı baskı problemlerini analiz etmek ve aktif filament kurutma yöntemlerinin baskı kalitesi üzerindeki etkilerini deneysel olarak ortaya koymaktır. Bu kapsamda, parça bütünlüğü, yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluk kriterleri esas alınarak, aktif kurutmanın yüksek hızlı FDM süreçlerindeki rolü değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların, higroskopik filamentlerle çalışan kullanıcılar ve endüstriyel uygulamalar için süreç optimizasyonuna katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, fiziksel ve termal özellikleri Çizelge 1'de verilen yüksek higroskopik özellik gösteren Polietilen Tereftalat Glikol (PETG) ve Termoplastik Poliüretan (TPU) filament malzemeleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan filamentlerin nominal çapı 1,75 mm olup, üretici toleransı ±0,05 mm olarak belirtilmiştir. PETG filament, yarı kristalin yapısı ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle rijit parça üretimi için; TPU filament ise elastomerik davranışı ve yüksek esnekliği nedeniyle fonksiyonel ve darbe emici parçaların üretimi için tercih edilmiştir. Filamentler, deneyler öncesinde ortam koşullarında (23 ± 2 °C sıcaklık ve %45–55 bağıl nem) muhafaza edilmiştir. Bu sayede, nem kaynaklı baskı hatalarının gözlemlenebilmesi için filamentlerin kontrollü ancak gerçekçi çevresel koşullarda nem absorbe etmesi sağlanmıştır. Deneysel karşılaştırmalar, kurutma uygulanmayan filamentler ile aktif kurutma altında baskı alınan filamentler arasında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan filament malzemelerinin temel fiziksel ve termal özellikleri

Özellik	**PETG**	**TPU**
Polimer türü	Polietilen Tereftalat Glikol	Termoplastik Poliüretan
Nominal filament çapı (mm)	1,75 ± 0,05	1,75 ± 0,05
Yoğunluk (g/cm³)	1,27	1,20
Cam geçiş sıcaklığı, Tg (°C)	75–85	−30 ila −10
Erime sıcaklığı (°C)	220–250	200–230
Mekanik davranış	Rijit – yarı esnek	Elastomerik – yüksek esneklik
Higroskopiklik seviyesi	Orta–yüksek	Yüksek
Nem kaynaklı tipik hata	İpliklenme (stringing)	Köpürme (foaming)
Önerilen kurutma sıcaklığı (°C)	55–60	45–50

2.2. 3B Yazıcı ve Baskı Sistemi

Deneysel çalışmalar, yazıcı donanım özellikleri Çizelge 2'de görülen yüksek hızlı FDM baskı kabiliyetine sahip Flashforge Adventurer 5M Pro model 3B yazıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazıcı, kapalı hazne yapısı, yüksek ivmelenme değerleri ve sabit sıcaklık kontrolü sağlayan metal hotend tasarımı sayesinde yüksek hızlarda kararlı baskı alabilme özelliğine sahiptir. Yazıcıda kullanılan nozul çapı 0,4 mm olup, baskı tablası sıcaklığı ve nozul sıcaklığı malzemeye bağlı olarak üretici önerileri ve ön denemeler doğrultusunda belirlenmiştir. Dilimleme işlemleri, üreticiye ait dilimleme yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve tüm deneylerde aynı dilimleme algoritmaları esas alınmıştır.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan 3B yazıcı ve donanım özellikleri

Parametre	**Değer**
Baskı teknolojisi	FDM (Fused Deposition Modeling)
Maksimum baskı hızı (mm/s)	300
Maksimum ivmelenme (mm/s²)	20.000
Nozul çapı (mm)	0,4
Nozul tipi	Pirinç
Baskı hacmi (mm)	220 × 220 × 220
Baskı tablası	Isıtmalı, kaplamalı
Filament besleme sistemi	Direct Drive

2.3. Filament Kurutma Sistemi ve Nem Kontrolü

Filamentlerin şartlandırılmasında, PTC (Positive Temperature Coefficient) ısıtma teknolojisine sahip Creality Space Pi Filament Dryer Plus cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, sabit sıcaklık kontrolü ve homojen ısı dağılımı sağlayarak filamentin aşırı ısınmasını önlemekte ve güvenli kurutma imkânı sunmaktadır. Çizelge 3'de görüldüğü gibi deneylerde PETG filament için kurutma sıcaklığı 55–60 °C, TPU filament için ise 45–50 °C aralığında tutulmuştur. Filamentler, baskı süreci boyunca kurutma cihazı içerisinde muhafaza edilerek yazıcıya doğrudan beslenmiş; böylece aktif kurutma (active drying) koşulları sağlanmıştır. Karşılaştırmalı analiz amacıyla, aynı baskı parametreleri altında kurutma uygulanmadan gerçekleştirilen baskılar referans olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3. Filament kurutma ve nem kontrol parametreleri

Filament	Kurutma yöntemi	Kurutma sıcaklığı (°C)	Kurutma süresi (saat)	Baskı sırasında kurutma
PETG	Pasif (kontrol)	–	–	Yok
	Aktif (PTC kontrollü)	55–60	≥4	Var
TPU	Pasif (kontrol)	–	–	Yok
	Aktif (PTC kontrollü)	45–50	≥6	Var

2.4. Baskı Parametreleri ve Numune Geometrisi

3B baskılar, nemin baskı kalitesi üzerindeki etkilerini belirgin şekilde ortaya koyabilecek standart numune geometrileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, prizmatik test numuneleri ve ince duvarlı yapı geometrileri tercih edilmiştir. Çizelge 4'de verildiği gibi tüm baskılarda katman kalınlığı 0,2 mm olarak sabit tutulmuş; baskı hızı, yüksek hızlı baskı koşullarını temsil edecek şekilde PETG için 200–250 mm/s, TPU için ise 120–150 mm/s aralığında seçilmiştir. Ekstrüzyon oranı, soğutma fanı ayarları ve doluluk oranı (%20–30) deneyler boyunca değiştirilmemiştir. Böylece, elde edilen farkların yalnızca filament nem içeriği ve kurutma yönteminden kaynaklanması hedeflenmiştir.

Çizelge 4. PETG ve TPU malzemeler için yüksek hızlı FDM baskı parametreleri

Parametre	PETG	TPU
Nozul sıcaklığı (°C)	235	220
Tabla sıcaklığı (°C)	80	50
Baskı hızı (mm/s)	200–250	120–150
Katman kalınlığı (mm)	0,20	0,20
Ekstrüzyon oranı (%)	100	100
Soğutma fanı (%)	30–40	20–30
Doluluk oranı (%)	20	20
Baskı modu	Yüksek hızlı	Yüksek hızlı

2.5. Değerlendirme Kriterleri ve Analiz Yöntemleri

Üretilen numuneler, görsel ve boyutsal analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yüzey kalitesi, ipliklenme ve köpürme oluşumu incelenmiştir. Katman sürekliliği, ekstrüzyon kararlılığı ve yüzey homojenliği nitel olarak karşılaştırılmıştır. Boyutsal doğruluk, dijital kumpas yardımıyla ölçülerek nominal değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, katmanlar arası

bağlanma kalitesi ve parça bütünlüğü, numunelerin mekanik stabilitesi göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, aktif kurutma ve kurutma uygulanmayan baskılar arasında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, yüksek hızlı FDM baskı koşullarında PETG ve TPU filamentlerin higroskopik özelliklerinin baskı kalitesi üzerindeki etkileri ve aktif filament kurutma uygulamasının süreç performansına katkıları deneysel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, filament nem içeriğinin hem ekstrüzyon kararlılığı hem de nihai parça özellikleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Kurutma uygulanmadan gerçekleştirilen PETG baskılarında Görsel 1'de görüldüğü gibi, özellikle yüksek baskı hızlarında belirgin ipliklenme (stringing), düzensiz ekstrüzyon ve yüzey pürüzlülüğü gözlemlenmiştir. Filament bünyesinde bulunan nemin nozul içerisinde buharlaşması, eriyik akış rejimini bozarak istenmeyen filament uzamaları ve katman geçişlerinde malzeme birikimlerine neden olmuştur. Buna karşılık, aktif kurutma altında gerçekleştirilen PETG baskılarında ekstrüzyonun daha kararlı olduğu, ipliklenme miktarının belirgin şekilde azaldığı ve yüzey kalitesinin gözle görülür biçimde iyileştiği tespit edilmiştir. Bu durum, filament içerisindeki nemin baskı süreci boyunca sürekli olarak uzaklaştırılmasının eriyik viskozitesini daha öngörülebilir bir seviyede tuttuğunu göstermektedir.

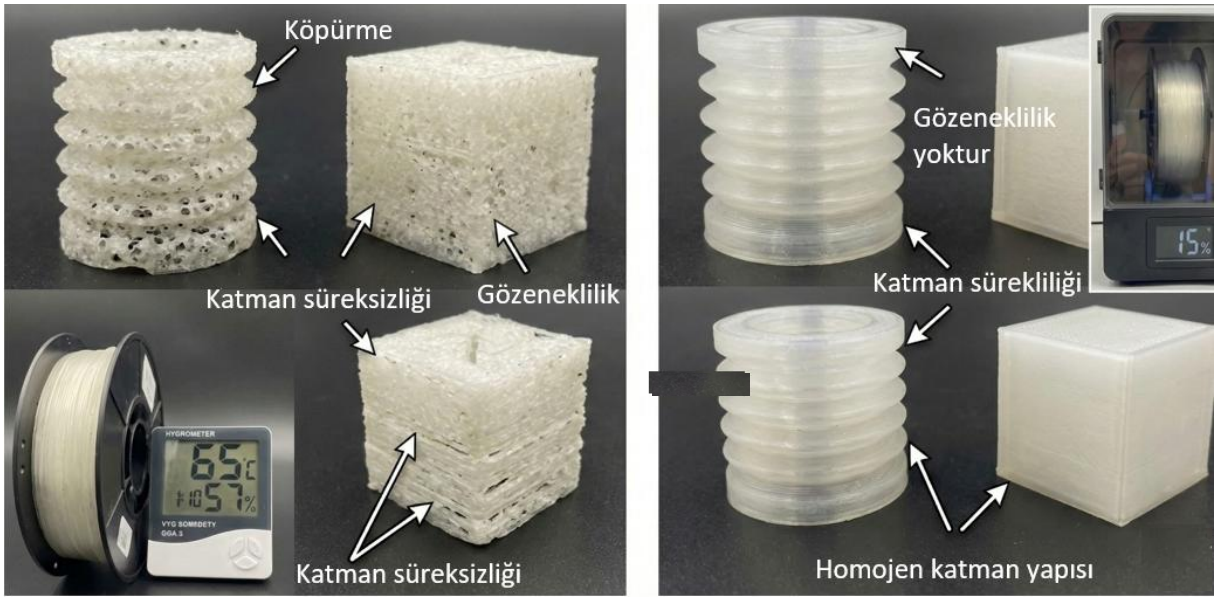


(a) (b)

Görsel 1. PETG numunelerde baskı kalitesi karşılaştırması, (a) Kurutma uygulanmamış, (b) Aktif kurutma uygulanmış

TPU filamentlerle yapılan deneylerde ise nemin etkisi PETG malzemesine kıyasla daha kritik düzeyde ortaya çıkmıştır. Görsel 2'de verildiği gibi kurutma uygulanmayan TPU baskılarında, köpürme (foaming), düzensiz katman yapısı ve yüzeyde gözenekli bir morfoloji oluştuğu gözlemlenmiştir. TPU'nun elastomerik (esnek) yapısı ve düşük erime viskozitesi, nemin buharlaşması sonucu oluşan gaz boşluklarının malzeme içerisinde hapsolmasına yol açmıştır. Aktif kurutma uygulanan baskılarda ise köpürme probleminin büyük ölçüde ortadan kalktığı, katman sürekliliğinin iyileştiği ve parçaların mekanik bütünlüğünün arttığı belirlenmiştir. Bu

sonuçlar, TPU gibi yüksek higroskopik ve esnek polimerlerde nem kontrolünün zorunlu bir süreç parametresi olduğunu ortaya koymaktadır.



(a) (b)

Görsel 2. TPU numunelerde baskı kalitesi karşılaştırması, (a) Kurutma uygulanmamış, (b) Aktif kurutma uygulanmış

Boyutsal doğruluk açısından yapılan değerlendirmelerde, aktif kurutma uygulanan numunelerin nominal ölçülere daha yakın değerler sunduğu tespit edilmiştir. Kurutma uygulanmayan baskılarda, özellikle ince duvarlı yapılarda katman kalınlığı dalgalanmaları ve kenar deformasyonları gözlemlenmiştir. Bu durum, nem kaynaklı düzensiz ekstrüzyonun katmanlar arası bağlanmayı ve geometrik kararlılığı olumsuz etkilediğini göstermektedir. Aktif kurutma ile bu sapmaların önemli ölçüde azaltıldığı ve yüksek hızlı baskı koşullarında dahi kabul edilebilir toleranslar elde edilebildiği görülmüştür.

Çizelge 5. Aktif kurutmanın boyutsal doğruluk üzerindeki etkisi

Filament	Numune ölçüsü (nominal, mm)	Kurutmasız ölçüm (mm)	Aktif kurutmalı ölçüm (mm)	Boyutsal sapma (%)
PETG	40,00	40,38	40,07	−0,78
PETG	20,00	20,31	20,04	−1,35
TPU	40,00	40,62	40,11	−1,28
TPU	20,00	20,45	20,09	−1,80

Elde edilen bulgular, literatürde ağırlıklı olarak önerilen baskı öncesi pasif kurutma yöntemlerinin, yüksek hızlı FDM uygulamalarında tek başına yeterli olmadığını destekler niteliktedir. Uzun süreli baskılarda filamentin tekrar nem kazanması, pasif yöntemlerin etkinliğini sınırlamaktadır. Buna karşın, baskı süreci boyunca devam eden aktif kurutma yaklaşımı, filament özelliklerini kararlı tutarak süreç tekrarlanabilirliğini ve parça kalitesini anlamlı ölçüde artırmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüksek hızlı FDM baskı süreçlerinde PETG ve TPU gibi higroskopik filamentlerin nem içeriğinin baskı kalitesi üzerindeki etkileri ve aktif filament kurutma uygulamasının süreç performansına katkıları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, filament nem yönetiminin yüksek hızlı eklemeli imalat uygulamalarında kritik bir süreç parametresi olduğunu açıkça ortaya koymuştur.

- Kurutma uygulanmadan gerçekleştirilen baskılarda, PETG filamentlerde belirgin ipliklenme, yüzey pürüzlülüğü ve düzensiz ekstrüzyon; TPU filamentlerde ise köpürme, gözenekli yapı ve katman süreksizlikleri gözlemlenmiştir. Bu kusurların, filament bünyesinde bulunan nemin baskı sırasında buharlaşarak eriyik akışını bozmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.
- Aktif filament kurutma uygulaması ile birlikte, PETG ve TPU malzemeli filamentlerde ekstrüzyon kararlılığının arttığı, yüzey kalitesinin belirgin şekilde iyileştiği ve katmanlar arası bağlanmanın güçlendiği tespit edilmiştir. Özellikle TPU filamentlerde köpürme olgusunun büyük ölçüde ortadan kalkması, aktif kurutmanın yüksek higroskopik malzemeler için zorunlu bir uygulama olduğunu göstermiştir.
- Boyutsal doğruluk analizleri, aktif kurutma altında üretilen numunelerin nominal ölçülere daha yakın değerler sunduğunu ve geometrik sapmaların anlamlı düzeyde azaldığını ortaya koymuştur. Bu durum, yüksek baskı hızlarında dahi aktif kurutma sayesinde süreç tekrarlanabilirliğinin sağlanabildiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Kantaros, A., Katsantoni, M., Ganetsos, T., & Petrescu, N. The evolution of thermoplastic raw materials in high-speed FFF/FDM 3D printing era: challenges and opportunities. Materials, 18(6), 1220, 2025.

2. Tao, Q., Fu, B., & Zhong, F. A Review of Challenges and Future Perspectives for High-Speed Material Extrusion Technology. Applied Sciences, 15(22), 12176, 2025.

3. Vanaei, H. R., Khelladi, S., & Tcharkhtchi, A. 3D Printing as a Multidisciplinary Field. Industrial Strategies and Solutions for 3D Printing: Applications and Optimization, 1-24, 2024.

4. Mishra, V., Veeman, D., & Negi, S. Enhanced Tensile Strength and Fracture Toughness of 3D Printed PETG/ABS Blend for Load-Bearing Application. Journal of Materials Engineering and Performance, 1-12, 2025.

5. Dastnaei, P. G. Investigation of 3D-Printed Polymers: A Focus on Material Selection, Processing Methods, Emerging Applications, and Potentials-Mini Review. Journal of Chemical Engineering and Energy Materials, 1(3), 156-166, 2025.

6. Przekop, R. E., Konieczna, R., Głowacka, J., Sztorch, B., Głowacki, M., & Kotecka, B. 3D printing in art: use of thermoplastics and ceramics—the current state and limitations resulting from the possibilities of technology. Progress in Additive Manufacturing, 1-31, (2025).

7. Sun, Q., Tan, X., Man, J., Li, S., Ali, Z., Yin, K., ... & Eberl, C. Experimental Study on the Effect of Humidity on the Mechanical Properties of 3D-Printed Mechanical Metamaterials. Polymers, 17(21), 2938, 2025.

8. Erlina, T., Violani, S. K., Suwandi, R., Nugroho, Y. S., & Islam, S. Temperature and Humidity Control System to Address Filament Brittleness in 3D Printers. In 2024 2nd International Symposium on Information Technology and Digital Innovation (ISITDI) (pp. 361-367). IEEE, July, 2024.

9. Barmpakos, D., & Kaltsas, G. A review on humidity, temperature and strain printed sensors—Current trends and future perspectives. Sensors, 21(3), 739, 2021.

10. Hamrol, A., Góralski, B., & Wichniarek, R. (2023). The natural moisture of ABS filament and its influence on the quality of FFF products. Materials, 16(3), 938.

11. Lendvai, L., Szücs, A., Keresztes, R., & Varga, T. (2025). Effect of filament humidity on the properties of material extrusion 3D printed parts. Materials Today: Proceedings. Advance online publication.

12. Oliinyk, B., Zdobytskyi, A., Marunchyn, O., & Kindrat, I. (2024). Research of the effect of filament humidity on the quality of 3D printing. Computer-Aided Design and Applications, 21(6), 1021–1032.

13. Shanmugam, V., Babu, K., Kannan, G., & Rajendran, S. (2024). The thermal properties of FDM printed polymeric materials: A review. Polymer Degradation and Stability, 223, 110205.

14. Gong, H., & Banjo, S. (2025). Influence of filament moisture on the extrusion behavior and surface quality in material extrusion additive manufacturing. Polymers, 17(8), 376.

BATARYA TERMAL YÖNETİM SİSTEMLERİNDE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN KULLANIMI

Burak AKGÜL
Erciyes Univ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak Müh. Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye.
burak.16.akgul@gmail.com- ORCID ID: 0000-0003-4440-1853

Dr. İsmail ATA
Erciyes Üniv., Havacılık ve Uzay Bil. Fakültesi, Uzay Müh. Bölümü, Kayseri, Türkiye.
ismailata@erciyes.edu.tr- ORCID ID: 0000-0003-0412-8397

ÖZET

Faz değiştiren malzemeler (PCM'ler), geçiş sıcaklığı civarında yüksek miktarda ısıyı gizli ısı olarak soğurabilmeleri sayesinde, lityum-iyon batarya paketleri için pasif bir termal yönetim seçeneği olarak giderek daha fazla araştırılmaktadır. Bu sayede sıcaklık artışı sınırlandırılmakta ve aktif bileşenlere olan bağımlılık azaltılmaktadır. Bu çalışma, güncel derleme literatürü ile seçilmiş deneysel ve sayısal çalışmaların bulgularını bir araya getirerek şu konuları özetlemektedir: (i) tepe sıcaklıkların bastırılması ve sıcaklık homojenliğinin iyileştirilmesi gibi PCM tamponlamasının temel avantajları; (ii) düşük doğal/etkin ısıl iletkenlik, erime sıcaklığı aralığının uygunsuzluğu, hacim değişimi ve arayüz/uyumluluk problemleri gibi başlıca uygulama zorlukları; ve (iii) ısıl iletken iskelet yapılarıyla güçlendirilmiş kompozit PCM'ler ile hibrit PCM–sıvı soğutma mimarileri gibi pratik iyileştirme stratejileri. Erken tasarım aşamalarındaki karar süreçlerini desteklemek amacıyla, gömülü ve kapsüllenmiş PCM konseptleri, iletken kompozitler ve hibrit sistemler arasında seçim yapılmasını kolaylaştıran karar odaklı, kompakt bir tablo sunulmaktadır. Genel olarak, PCM entegrasyonunun en etkili olduğu durumlar, erime sıcaklığı aralığının bataryanın hedef çalışma sıcaklığı penceresiyle uyumlu olduğu ve ısı yayılımı sınırlamalarının iletken ağlar veya tamamlayıcı aktif soğutma yöntemleriyle giderildiği uygulamalardır.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren malzemeler, batarya termal yönetimi, elektrikli araç bataryaları

ABSTRACT

Phase change materials (PCMs) are increasingly investigated as a passive thermal management option for lithium-ion battery packs, as they can absorb large amounts of heat as latent heat around a transition temperature, thereby limiting temperature rise while reducing reliance on active components. This study synthesizes findings from recent review literature and representative experimental and numerical studies to summarize: (i) the key benefits of PCM buffering, including peak temperature suppression and improved temperature uniformity; (ii) the main application challenges, such as low intrinsic/effective thermal conductivity, mismatch of the melting temperature range, volume change, and interfacial/compatibility issues; and (iii) practical enhancement strategies, including composite PCMs reinforced with thermally

conductive scaffold structures and hybrid PCM–liquid cooling architectures. To support early-stage design decisions, a decision-oriented compact table is provided to facilitate selection among embedded and encapsulated PCM concepts, conductive composites, and hybrid systems. Overall, PCM integration is most effective when the melting temperature range is aligned with the target operating window of the battery and heat dissipation limitations are mitigated through conductive networks or complementary active cooling.

Keywords: Phase Change Materials, Battery thermal management, Electrical vehicle batteries

1. GİRİŞ

Lityum-iyon bataryalar (LIB); elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji depolama sistemleri, taşınabilir elektronikler ve uzay uygulamaları gibi birçok alanda yüksek enerji yoğunlukları ve uzun çevrim ömürleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak Lityum-iyon batarya paketleri çalışma sırasında ısı üretir; ısı etkili biçimde uzaklaştırılamazsa güvensiz koşullar ve hızlanmış yaşlanma meydana gelebilir [1]. Geleneksel batarya termal yönetim yaklaşımları; hava soğutma, sıvı soğutma ve ısı boruları gibi aktif ve pasif yöntemleri kapsamaktadır. Aktif sistemler yüksek ısı transfer kapasitesi sunmalarına rağmen ek enerji tüketimi, karmaşık yapı, ağırlık artışı ve bakım gereksinimi gibi dezavantajlara sahiptir [2]. Bu bağlamda, enerji tüketimi düşük, yapısal olarak basit ve güvenilir pasif batarya termal yönetim sistemlerine (BTMS) olan ilgi giderek artmaktadır. Faz değiştiren malzemeler (Phase Change Materials – PCM), belirli bir sıcaklık aralığında faz değişimi sırasında yüksek miktarda gizli ısı depolayabilme yetenekleri sayesinde batarya termal yönetiminde etkili bir pasif çözüm olarak öne çıkmaktadır. PCM'ler, batarya hücrelerinden açığa çıkan fazla ısıyı soğurarak sıcaklık artışını sınırlamakta ve hücreler arası sıcaklık farklarını azaltarak daha homojen bir termal dağılım sağlamaktadır [3, 4]. Bununla birlikte, PCM tabanlı konseptler pratik sınırlamalarla karşı karşıyadır. Bu sınırlamaların en önemlisi, birçok organik PCM'de ısının yavaş yayılmasıdır ki bu durum hızlı geçici rejimlerde gizli ısı kapasitesinin tam kullanılamamasına ve yerel sıcak noktaların oluşmasına yol açabilir. Güncel derlemeler, PCM'nin gizli ısısı, ısıl iletkenliği ve erime noktasının BTMS performansı için temel tasarım parametreleri olduğunu; ayrıca kompozit faz değişim malzemelerinin (CPCM'ler) ve kapsüllemenin (encapsulation) ısı transferini ve güvenliği artırmak için yaygın başvurulan yöntemler olduğunu vurgulamaktadır [5].

Bu çalışmada, batarya termal yönetim sistemlerinde faz değiştiren malzemelerin (PCM) kullanımına ilişkin temel prensipler ele alınmakta; PCM'lerin avantajları, sınırlılıkları ve literatürde rapor edilen güncel uygulamaları incelenmekte ve batarya modüllerinin tasarımına yönelik mühendislik kararlarında kritik öneme sahip ödünleşimler (trade-off'lar) vurgulanarak kısa ve öz bir sentez sunulmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, kısa ve yapılandırılmış bir literatür sentezidir. Çalışma içeriğinde, PCM sınıfları ve entegrasyon yaklaşımları ile sınırlamalar ve iyileştirme stratejilerine ilişkin temel ifadeler, güncel derleme çalışmalarından derlenmiştir. Hibrit PCM–sıvı konseptlerine ilişkin kanıtlar ise, modül seviyesinde PCM'nin su soğutma plakası ile birleştirildiği temsili bir deneysel çalışmadan alınmıştır [6]. Derleme düzeyindeki tartışmanın ötesinde somut bir örnek sunmak

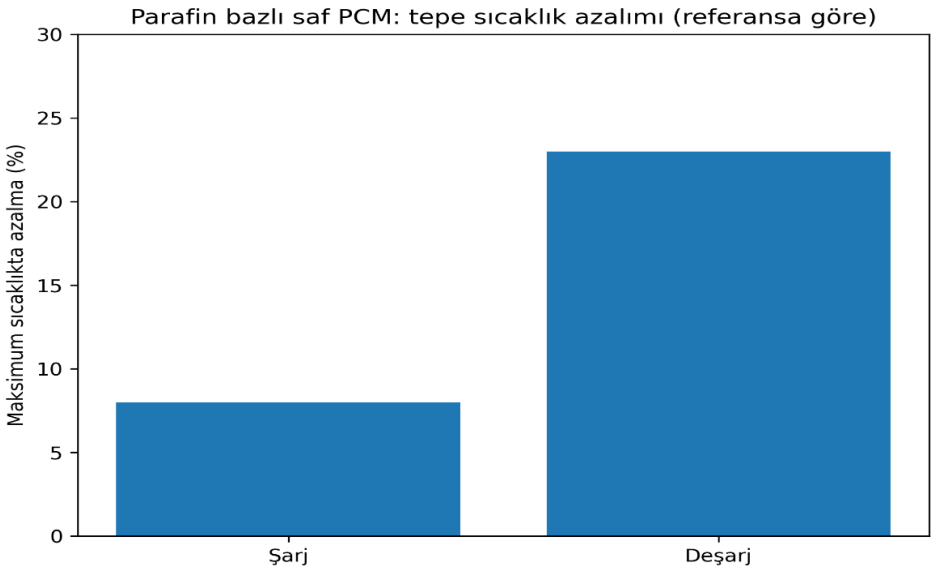
amacıyla, parafin bazlı deneysel bir PCM uygulaması da "saf PCM" için temsili bir temel (baseline) örnek olarak dahil edilmiş; ergime sıcaklığının eşleştirilmesi, iletkenlik kısıtı ve muhafaza/uyumluluk gibi pratik hususlara ilişkin değerlendirmelere girdi sağlamıştır [7]. Bu sentez, üç tasarım boyutunu vurgular: (a) malzeme seçimi ve faz geçiş sıcaklığı, (b) paketleme (gömülü/kapsüllü) ve arayüz ısıl direnci, (c) aktif soğutma çevrimleriyle hibritleştirme.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Faz Değiştiren Malzemelerin Avantajları

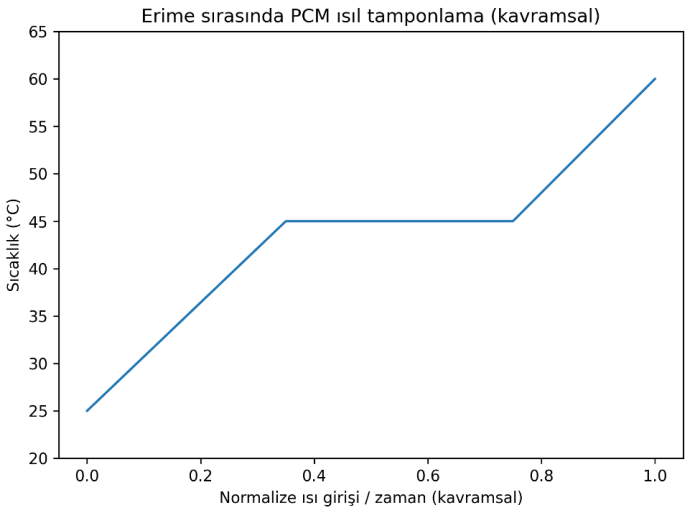
PCM'ler, faz geçiş sıcaklıklarının yakınında ısıyı tamponlar; başka bir deyişle bataryadan gelen ısı girdisinin bir kısmı hücre sıcaklığını artırmak yerine gizli entalpiye aktarılır. Derleme bulguları, PCM tabanlı pasif batarya ısıl yönetim sistemlerinin paket sıcaklığını ve sıcaklık düzensizliğini azaltabildiğini; böylece aşırı ısıl gradyanları sınırlandırarak ömür iyileşmelerini desteklediğini göstermektedir [8]. Hücreler arasında PCM ile bir su soğutma plakasını birleştiren hibrit bir modül konseptinde Bai vd, su plakasının üretilen ısının büyük bir bölümünü uzaklaştırdığını, PCM'nin ise sıcaklık alanının uniformitesini iyileştirdiğini ve incelenen koşullar altında birleşik konseptin beş ardışık şarj–deşarj çevrimi boyunca termal runaway'i önleyebildiğini rapor etmektedir [6]. Temsili bir örnek olarak, parafin bazlı PCM deneyleri de benzer çalışma koşullarında PCM'siz temel duruma kıyasla hücre tepe sıcaklığının azaldığını ve modül seviyesinde sıcaklık uniformitesinin iyileştiğini bildirmektedir [7].

Parafin bazlı saf PCM'nin referans (PCM'siz) duruma göre raporlanan tepe sıcaklık azalımının kısa bir özeti Görsel 1'de sunulmuştur.

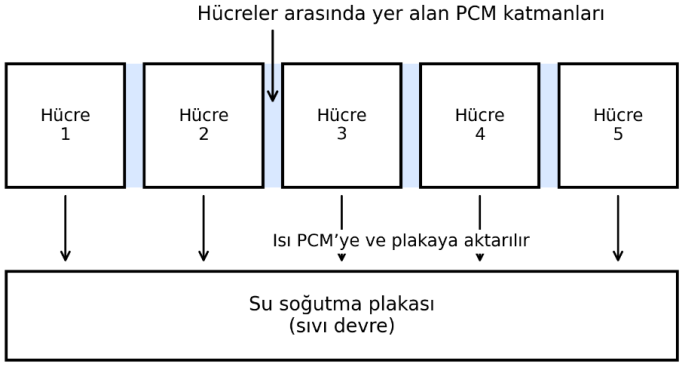


Görsel 1. Parafin bazlı saf PCM için raporlanan maksimum sıcaklıktaki azalma (PCM'siz referansa göre) [7].

Görsel 2'de kavramsal olarak gösterildiği üzere, PCM'nin erimesi ısı girdisinin bir kısmını gizli ısı depolamasına yönlendirerek sıcaklık değişiminin çok sınırlı olduğu (yaklaşık izotermal) bir plato oluşturur. Temsili bir hibrit modül yerleşimi ise Görsel 3'te gösterilmiştir.



Görsel 2. Erime sırasında PCM'nin ısıl tamponlama davranışı (kavramsal; Liu vd.[5] ve Yang vd.'den [8] uyarlanmıştır).



Görsel 3. Hibrit PCM–sıvı soğutma modül konsepti şeması (hücreler arasında PCM ve altta su soğutma plakası; Bai vd'den [6] uyarlanmıştır)

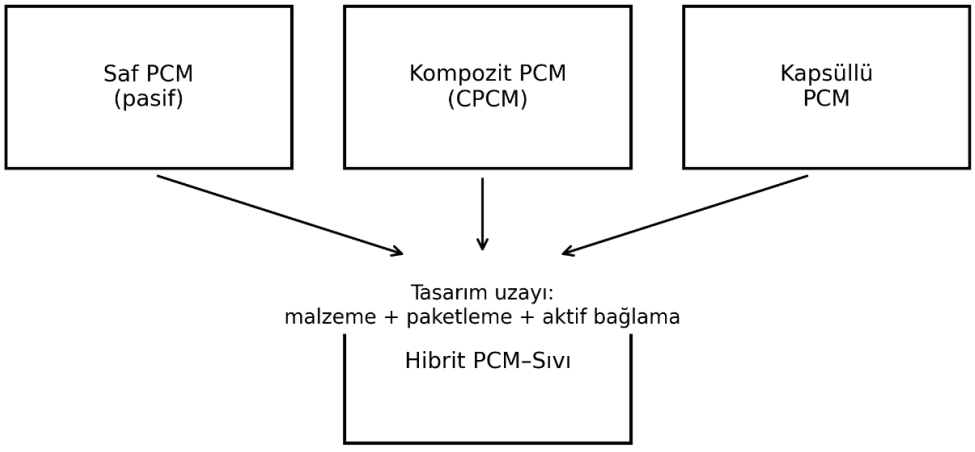
3.2 Sınırlamalar

Tekrarlayan bir engel, birçok organik PCM'nin düşük doğal (öz) ısıl iletkenliğidir. Bu durum, ısının PCM'nin kütlesine (hacmine) nüfuz etme hızını sınırlar ve kısa süreli yüksek güç olaylarında yalnızca hücre–PCM arayüzüne yakın ince bir bölgenin erimesine neden olabilir [8]. Sonuç olarak, PCM'nin erimemiş bölgelerinde hâlâ kullanılabilir gizli ısı kapasitesi bulunurken, yerel hücre yüzeyleri kabul edilemeyecek sıcaklıklara ulaşabilir. Bir diğer sınırlama, performansın erime aralığı hizalamasına duyarlı olmasıdır. PCM çok erken erirse gizli ısı kapasitesi ılımlı koşullarda tüketilir; çok geç erirse ise hücreler zaten ısındıktan sonra ancak koruma sağlayabilir [5]. BTMS'de kullanılan PCM'ler için gizli ısı, ısıl iletkenlik ve erime noktasının hayati parametreler olduğunu vurgular. Mekanik entegrasyonda, erime sırasında meydana gelen hacim değişimi de dikkate alınmalıdır; örneğin pasif PCM tabanlı BTMS literatüründe pratik tasarım toleransları (örneğin boş hacim bırakılması) tartışılmaktadır [8]. Son olarak, arayüz etkileri (temas direnci ve kapsülleme kabukları), PCM'nin kendisi uygun özelliklere sahip olsa bile etkin ısı transfer hızını azaltabilir; bu da paketleme (packaging) tasarımının dikkatle yapılması gerektiğini pekiştirir.

3.3 İyileştirme Stratejileri

Yaygın biçimde raporlanan bir iyileştirme yaklaşımı, düşük ısıl iletkenliğe sahip bir PCM'yi yüksek ısıl iletkenlikli dolgu malzemeleri veya iskelet (scaffold) yapıları ekleyerek bir kompozit faz değişim malzemesine (CPCM) dönüştürmektir. PCM'lerin iletken dolgu malzemeleriyle harmanlanması, düşük ısıl iletkenlik sorununu aşarak verimi artırabilir, ancak dolgu tipine ve dolgu oranına (yükleme miktarına) bağlı olarak gizli ısı kapasitesini değiştirebilir [8]. Gözenekli metalik iskeletler için, metal köpükler (örneğin bakır, alüminyum, nikel) etkin ısıl iletkenliği belirgin şekilde artırabilir ve erimeyi hızlandırarak sıcaklık uniformitesini iyileştirebilir. Bununla birlikte katı iskelet hacim kaplar ve sıvı PCM içindeki doğal taşınımı (doğal konveksiyonu) baskılayabilir [8]. Bu iyileştirmeler, daha hızlı ısı yayılımı ile birim hacim başına aktif PCM miktarının azalması arasında; ayrıca artan kütle ve üretim karmaşıklığı gibi unsurlarla birlikte bazı ödünleşimleri (trade-off'ları) beraberinde getirir. Sistem düzeyinde ise hibrit PCM–sıvı yaklaşımları, bir soğutucu plaka üzerinden hızlı ısı uzaklaştırmayı hücreler arasında gizli ısı tamponlamasıyla birleştirerek tepe sıcaklığı azaltabilir ve sıcaklık uniformitesini iyileştirebilir [6]. Bu tür hibrit çözümler, PCM'nin tek başına erken doygunluğa ulaştığı yüksek görev/yük profiline sahip modüllerde cazip olabilir; ancak aktif çevrimlerle ilişkili pompalama gücü ihtiyacını, tesisat/borulama kısıtlarını ve güvenilirlik değerlendirmelerini yeniden gündeme getirir.

Lityum-iyon batarya modülleri için PCM entegrasyon rotalarının kavramsal haritası olan Görsel 4, bu çalışmada ele alınan başlıca PCM entegrasyon yaklaşımlarını özetlemekte ve bunları Çizelge 1'deki karar odaklı seçeneklerle ilişkilendirmektedir.



Görsel 4. Lityum-iyon batarya modülleri için PCM entegrasyon rotalarının kavramsal haritası (Liu vd. [8], Yang vd. [5] ve Bai vd. [6]'ten uyarlanmıştır).

Lityum-iyon batarya termal yönetim sistemlerinde kullanılan yaklaşımlar, uygulama yöntemleri, sınırlılıkları ve avantajları Çizelge 1'de özet halinde sunulmuştur. Batarya sistemleri için faz değiştiren malzemelerin kullanımının yaklaşımlarının avantajları olduğu kadar sınırlamalarının da mevcut olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Batarya termal yönetim sistemleri için PCM kullanım yaklaşımları

Yaklaşım	Tipik uygulama	Başlıca avantajlar	Temel sınırlamalar	Notlar / kanıt temeli
Kapsüllenmiş PCM	Makro/mikro kapsülleme; modüler PCM kartuşları	Sızıntı kontrolü; modüler değişim; kimyasal olarak uyumsuz PCM'leri izole eder	Kapsül kabuğu nedeniyle ek ısıl direnç; üretim karmaşıklığı	Kapsülleme, PCM BTYS derlemelerinde güvenlik/entegrasyon yaklaşımı olarak yaygın biçimde tartışılır [5]
Hibrit PCM–sıvı	Hücreler arasında PCM + su soğutma plakası veya sıvı devre	Gizli ısı tamponlamasını güçlü ısı atımıyla birleştirir; uniformiteyi iyileştirir; mak. sıcaklığı düşürür	Pompa gücü ihtiyacı; tesisat/paketleme kısıtları; ek arıza modları	Hibrit PCM/su soğutma plakası uniformiteyi iyileştirir ve incelenen çevrimlerde termal runaway'i önleyebilir [6]
Kompozit PCM (CPCM)	PCM + iletken katkılar (grafit/grafen/CNT, metal köpükler)	Daha hızlı ısı yayılımı; daha düşük gradyanlar; sızıntının baskılanması potansiyeli	Ek kütle/maliyet; dolgu hacmi aktif PCM miktarını azaltır; gizli ısı değişebilir	İletken katkılar ve metal köpükler iletkenliği artırır; ancak gizli ısıyı ve doğal konveksiyonu etkileyebilir [8]
Saf PCM (pasif)	Hücrelerin etrafında PCM blok/katmanlar; hücreler arasında PCM	Basit yapı; pompa/fan yok; sıcaklık uniformitesini iyileştirir	Düşük iletkenlik → yerel ergime; uzun süreli yüksek yüklerde sınırlı	Pasif BTYS fan/pompaları ortadan kaldırır ve sıcaklık düzensizliğini azaltır [8]

4. SONUÇLAR

PCM tabanlı batarya soğutma, geçici (transiyent) ısıl tepe değerleri için pasif bir tampon olarak ve birbirine yakın yerleştirilmiş hücreler arasında sıcaklık uniformitesini artırmak açısından en cazip çözümlerden biridir. Ancak düşük doğal (öz) ısıl iletkenlik, erime aralığı uyumsuzluğu ve entegrasyon/arayüz etkileri, gerçek saha koşullarındaki etkinliği sınırlayabilir. Kompozit PCM'ler ve gözenekli iletken iskelet yapıları, ısının daha hızlı yayılması için pratik bir yaklaşımdır; fakat iletkenlik kazanımları, gizli ısı depolama fraksiyonu, kütle ve maliyet arasında bir ödünleşim gözetilerek tasarlanmalıdır. Zorlu görev çevrimlerinde hibrit PCM–sıvı mimarileri, ilave sistem karmaşıklığı pahasına daha sağlam (robust) bir performans sunar. Bataryaların elektro-termal modellerini faz değişimi ve arayüz fiziğiyle birlikte ele alan gelecekteki çalışmalar, bu tasarımların öngörülebilirliğini ve ölçeklenebilirliğini artıracaktır

KAYNAKÇA

1. Al-Hallaj, S., & Selman, J. R. (2000). Thermal modeling of secondary lithium batteries for electric vehicle/hybrid electric vehicle applications. Journal of Power Sources, 110(2), 341–348.

2. Rao, Z., & Wang, S. (2011). A review of power battery thermal energy management. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(9), 4554–4571.

3. Ling, Z., Zhang, Z., Shi, G., Fang, X., Wang, L., Gao, X., & Wang, S. (2014). Review on thermal management systems using phase change materials for electronic components, Li-ion batteries and photovoltaic modules. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31, 427–438.

4. Khateeb, S. A., Amiruddin, S., Farid, M., Selman, J. R., & Al-Hallaj, S. (2004). Thermal management of Li-ion battery with phase change material for electric scooters. Journal of Power Sources, 128(2), 292–307.

5. Yang, S., Lin, J., Zhang, Z., Zhang, C., Zheng, X., Xie, W., Wang, L., Chen, S., Liu, X. Advanced engineering materials for enhancing thermal management and thermal safety of lithium-ion batteries: A review, Frontiers in Energy Research, July, 10, –, 2022.

6. Bai, F., Chen, M., Song, W., Feng, Z., Li, Y., Ding, Y. Thermal management performances of PCM/water cooling-plate using for lithium-ion battery module based on non-uniform internal heat source, Applied Thermal Engineering, November, 126, –, 2017.

7. Polat, F., Sarıdemir, S. Experimental investigation of the effects of paraffin as a phase change material on the cooling performance of a battery thermal management system, Duzce University Journal of Science and Technology, December, 11, 5, 2023.

8. Liu, C., Xu, D., Weng, J., Zhou, S., Li, W., Wan, Y., Jiang, S., Zhou, D., Wang, J., Huang, Q. Phase Change Materials Application in Battery Thermal Management System: A Review, Materials, October, 13, 20, 2020.

INVESTIGATION OF THE TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF TE-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES THROUGH MULTILAYER DIELECTRIC LAYERS STRUCTURES

Assoc. Prof. Dr. Fadıl Kuyucuoğlu
Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical-Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
fadil.kuyucuoglu@cbu.edu.tr , ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0134-0491

ABSTRACT

This study investigates the transmission behavior of TE-polarized electromagnetic waves incident on a structure composed of multiple dielectric layers. Frequency-dependent transmission characteristics are obtained for both normal and oblique incidence cases. It is observed that the transmittance values approach unity at certain frequencies. The effect of layer thickness on the transmittance is also explained through graphical analysis. Initially, transmittance curves are plotted for a single dielectric layer under different angles of incidence, and it is observed that increasing the angle of incidence leads to lower transmittance levels. In conclusion, the transmittance variations of thin dielectric layers are analyzed, and the obtained results are presented and supported by graphics.

Keywords: Dielectric Layers, Te-polarized electromagnetic wave, Transmittance

1. INTRODUCTION

Wave propagation in multilayer structures is a popular topic. Several studies such as propagation in metamaterial multilayered strutures [1], optical properties of one dimensional Fibonacci series [2], reflection and transmission properties of dielectric layers [3], multilayer dielectric analysis for millimeter wave applications [4] can be found in the literature.

In this study, the propagation of a TE-polarized plane electromagnetic wave through multilayer dielectric films is analyzed. When the incident wave is incident obliquely upon the structure, reflections and transmissions occur at the interfaces between layers. The transmitted wave is obtained, and the transmittance is calculated as the square of the total transmission coefficient of the system. Transmittance is obtained a function of frequency and the thickness of the inner dielectric layer. Reflections and transmissions at each interface are calculated using Snell's law, while the overall transmittance is calculated by using the transfer matrix method. Several incidence angles, refractive indices, and layer thicknesses on the transmission characteristics are investigated and presented.

2. MATERIALS AND METHODS

A TE-polarized electromagnetic wave is considered to be obliquely incident on a multilayer geometry. The schematic representation of the problem geometry is shown in Fig 1.

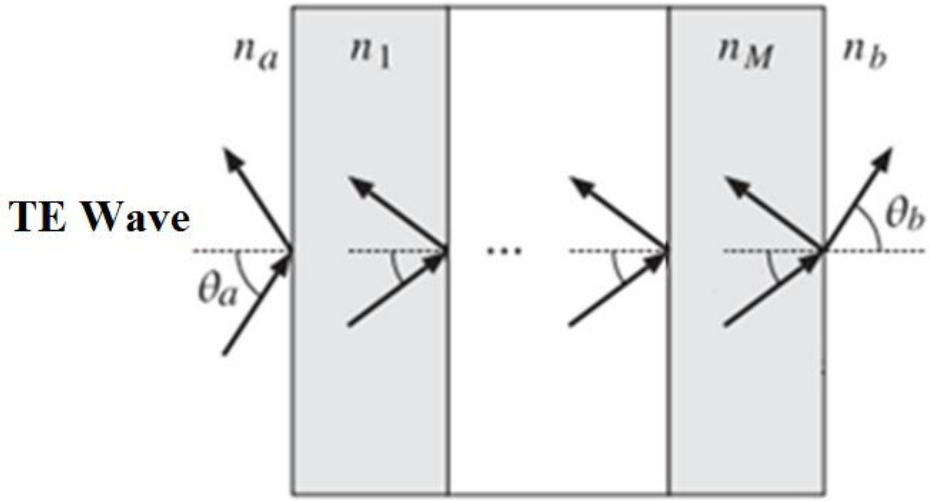


Figure 10 Problem Geometry

Reflection and transmission coefficients are calculated at the boundaries according to Snell's law, as expressed in Eq. (1).

$$n_a \sin\theta_a = n_1 \sin\theta_1 \qquad (1)$$

Here, n represents the refractive index of the dielectric medium and θ denotes the angle of incidence. After calculating refraction angles, the transmittance of the structure is obtained by applying the transfer matrix method.

3. RESULTS

First, the variation of transmittance for different angles of incidence is examined for a single layer with a refractive index of 4 and a thickness equal to half the wavelength. Figure 2 illustrates the transmittance as a function of the normalized frequency.

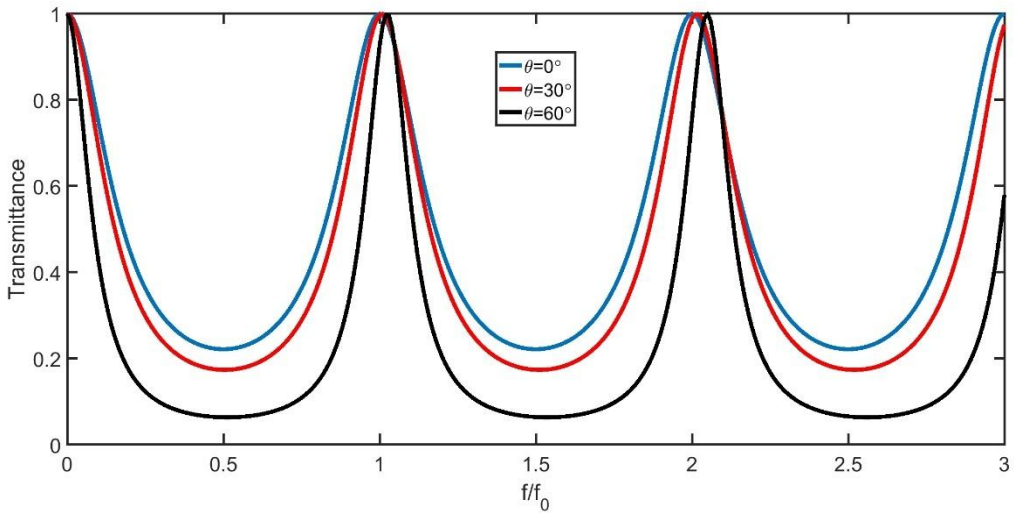


Figure 2 Transmittance variations versus normalized frequency for half wavelength slab

First, the transmittance under normal incidence is analyzed. The highest transmittance values are obtained for normal incidence. When the angle of incidence is increased to 30°, the transmittance levels decrease. Similarly, if we increase incidence angle to 60°, we obtain lower transmittance values.

The variation of transmittance is presented as a function of the air-gap thickness for a wave incident from a medium with a refractive index of 3 into air and subsequently into a medium with the refractive index of 4.

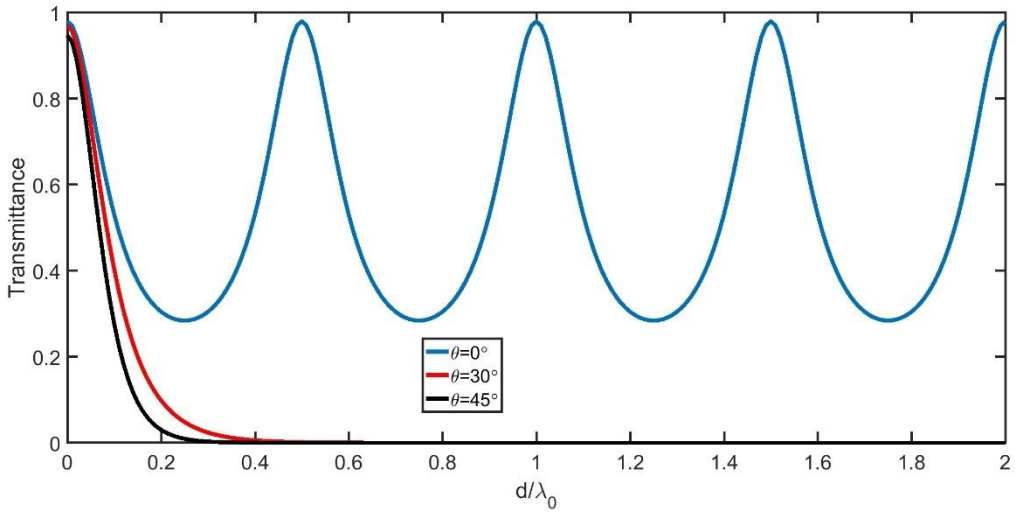


Figure 3 Transmittance variations versus normalized slab length for several incidence angles at design frequency (n_a=3, n_1=1,n_b=4)

As shown in Fig. 3, for normal incidence, the transmittance exhibits a periodic behavior with a period of 0.5 wavelength. When the angle of incidence is increased to 30°, the transmittance decreases. For an incidence angle of 60°, the transmittance rapidly converges to zero.

4. CONCLUSIONS

In conclusion, this study investigates the transmittance characteristics of a TE-polarized plane electromagnetic wave incident on multilayer dielectric structures. The transmittance is examined for various angles of incidence, layer thicknesses, and refractive index values.

REFERENCES

1. Cory, H. and C. Zach, "Wave propagation in metamaterial multi layered structures," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 40, No. 6, 460-465, 2004. doi:10.1002/mop.20005

2. Aissaoui, M., J. Zaghdoudi, M. Kanzari, and B. Rezig, "Optical properties of the quasi-periodic one-dimentional generalized multilayer Fibonacci structures," Progress In Electromagnetics Research, Vol. 59, 69-83, 2006. doi:10.2528/PIER05091701

3. Bertoni, H., L. H. Cheo, and T. Tamir, "Frequency selective reflection and transmission by periodic dielectric layer," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 37, No. 1, 78-83, 1989. doi:10.1109/8.192167

4. Bornemann, J., "Computer aided design of multilayered dielectric frequency selective surfaces for circularly polarized millimeter wave applications," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 41, No. 11, 1588-1591, 1993. doi:10.1109/8.267362

EGE 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 23 - 29, 2025 – IZMIR
Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE UÇUŞ BAZLI KARBONDİOKSİT EMİSYONLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK VERİ TABANLI BİR KARAR DESTEK MODELİ

Doç. Dr. Ayten YILMAZ YALÇINER
Sakarya Üniversitesi,
ayteny@sakarya.edu.tr –
0000-0001-8160-812X

Huzeyfe ÖZSOY
Sakarya Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği
huzeyfe.ozsoy@ogr.sakarya.edu.tr- 0009-0008-8267-256X

ÖZET
Bu çalışmada, havacılık sektöründe uçuşlardan kaynaklanan karbon dioksit (CO_2) emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak, **veri tabanlı bir karar destek modeli** geliştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, uçuş bazlı operasyonel veriler kullanılarak emisyonların nicel olarak hesaplanması ve farklı senaryolar altında karşılaştırılabilir çıktılar üretilmesidir. Geliştirilen model, **ICAO Annex 16 Volume II** kapsamında tanımlanan emisyon sertifikasyon yaklaşımını birebir tekrar etmeyi değil; bu standartta benimsenen **standartlaştırılmış uçak–motor–operasyon mantığını** operasyonel uçuş verilerine uyarlamayı hedeflemektedir.
Model kapsamında, uçuşların kalkış ve varış meydanları (ADEP–ADES), uçak tipleri ve mesafe bilgileri kullanılarak uçuş süresi, yakıt tüketimi ve toplam CO_2 emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, uçak tipine bağlı **True Air Speed (TAS)** parametreleri, **Landing and Take-Off (LTO)** çevrimini temsil eden sabit yakıt bileşeni ve seyir fazına ilişkin yakıt akış fonksiyonları dikkate alınmıştır. Ayrıca, ideal (rüzgâr etkisi olmayan) uçuş koşulları ile operasyonel koşullar karşılaştırılarak **operasyonel verimsizlik göstergesi (Efficiency/Inefficiency Gap – EIG)** tanımlanmış ve emisyon sapmaları analiz edilmiştir.
Uçuş mesafelerinin birim tutarlılığı, büyük daire (haversine) mesafeleri ile karşılaştırmalı olarak otomatik biçimde doğrulanmış ve analizler tek bir standart birim üzerinden yürütülmüştür. Geliştirilen model, farklı uçak tipleri, rotalar ve operasyonel senaryolar altında emisyon sonuçlarının karşılaştırılmasına olanak sağlamakta; elde edilen çıktılar, görselleştirme ve ileri analizler için Power BI gibi iş zekâsı araçlarına uygun formatta sunulmaktadır. Bu yönüyle çalışma, havacılık sektöründe emisyon azaltımına yönelik karar süreçlerini destekleyebilecek esnek ve ölçeklenebilir bir analitik çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Havacılık, Karbon Emisyonu, Karar Destek Sistemi, ICAO Annex 16, Uçuş Analizi

1. GİRİŞ

Havacılık endüstrisi, küresel ticaretin, turizmin ve kültürel entegrasyonun en kritik bileşenlerinden biri olarak kabul edilmekle birlikte, insan kaynaklı iklim değişikliği üzerindeki etkisi nedeniyle giderek artan bir çevresel baskı altındadır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) verilerine göre, küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %2.5'i doğrudan havacılık faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Ancak sektörün büyüme hızı ve diğer endüstrilerin dekarbonizasyon süreçleri dikkate alındığında, havacılığın küresel emisyonlar

içindeki payının 2050 yılına kadar artış göstereceği öngörülmektedir. Sektörün, enerji yoğunluğu yüksek ve elektrifikasyonu zor (hard-to-abate) bir yapıya sahip olması, kısa vadede radikal teknolojik dönüşümleri sınırlamaktadır. Bu bağlamda, 2050 "Net Sıfır" hedefine ulaşılabilmesi için, Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları (SAF) ve yeni nesil motor teknolojilerinin yanı sıra, "operasyonel verimlilik" kavramı hayati bir önem taşımaktadır.

Mevcut durumda, havayolu işletmeleri ve düzenleyici otoriteler tarafından kullanılan emisyon hesaplama araçlarının büyük çoğunluğu, statik varsayımlara dayalı ve şeffaflıktan uzak "kara kutu" modelleridir. Bu modeller, genellikle yıllık toplam yakıt tüketimi üzerinden genel bir emisyon tahmini yapmakta, ancak uçuş bazlı operasyonel verimsizlikleri tespit etmekte yetersiz kalmaktadır. Karar vericilerin "Hangi rota, hangi uçak tipi veya hangi uçuş segmentinde karbon azaltım potansiyelimiz var?" sorusuna yanıt verebilmesi için, büyük veriyi işleyebilen, şeffaf ve denetlenebilir bir altyapıya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen proje, OpenSky Network üzerinden elde edilen gerçek uçuş verilerini (ADS-B) kullanarak, uçuş bazlı yakıt tüketimi ve emisyonlarını hesaplayan, Python tabanlı modüler bir Karar Destek Modeli (KDM) sunmaktadır. Projenin birinci fazı (Faz-1), veri kalitesi sorunlarını yönetebilen hibrit bir mesafe modeline, ICAO Annex 16 standartlarına dayalı fiziksel hesaplama motoruna ve İş Zekâsı (BI) araçlarına uygun çıktı üreten bir veri işleme hattına (pipeline) odaklanmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Havacılıkta sürdürülebilirlik çalışmaları, teknolojik yenilikler, yasal düzenlemeler ve operasyonel optimizasyon olmak üzere üç ana eksende incelenmektedir.

2.1. Yasal Çerçeve ve ICAO Standartları Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO), sektörün çevresel etkilerini yönetmek amacıyla Annex 16 standartlarını geliştirmiştir.

- **Annex 16 Volume II (Uçak Motor Emisyonları):** Motorların sertifikasyonu için standartlaştırılmış LTO (Landing and Take-Off) çevrimini tanımlar. LTO döngüsü; taksi, kalkış, tırmanma ve yaklaşma olmak üzere dört fazdan oluşur ve yerel hava kalitesi üzerindeki etkileri simüle eder.
- **Annex 16 Volume III (Uçak Emisyonları):** Uçakların yakıt verimliliğini ve karbon yoğunluğunu sertifikalandırmak için teknik metrikler sunar. Bu proje, söz konusu standartları teorik bir sertifikasyon prosedürü olarak değil, operasyonel veriye uygulanabilir bir matematiksel modelleme tabanı olarak kullanmaktadır. Özellikle Volume II'deki LTO mantığı, modelin havalimanı çevresindeki emisyon yükünü hesaplamasında temel teşkil etmiştir.

2.2. Büyük Veri ve Operasyonel Analitik Geleneksel çalışmalarda kullanılan BADA (Base of Aircraft Data) tabloları, genellikle ideal koşulları yansıtmaktadır. Ancak son yıllarda ADS-B teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte, OpenSky Network gibi platformlar araştırmacılara gerçek dünya verisi sunmaya başlamıştır. Sun ve ark. (2020), OpenSky verilerini kullanarak Avrupa hava sahasındaki yakıt verimliliğini analiz etmiş, ancak veri eksikliklerinin (missing data) analiz süreçlerini zorlaştırdığını belirtmiştir. Bu çalışmada geliştirilen hibrit mesafe

modeli, literatürde sıkça karşılaşılan bu veri sürekliliği sorununa özgün bir çözüm getirmektedir.

2.3. Rota Optimizasyonu Jalalian ve ark. (2019), seyir hızı kontrolü (cruise speed control) ve rota optimizasyonu ile yakıt tüketiminde %5'e varan tasarruf sağlanabileceğini göstermiştir. MDPI tarafından yayınlanan çalışmalar (2021), ticari uçuşlarda formasyon uçuşlarının aerodinamik avantajlarını incelemiştir. Ancak bu teorik kazanımların sahada uygulanabilmesi için, öncelikle mevcut durumun (baseline) doğru ölçülmesi gerekmektedir. Geliştirilen bu model, mevcut operasyonel verimsizliği ölçülebilir hale getirerek optimizasyon çalışmaları için bir temel oluşturmaktadır.

3. YÖNTEM

Proje, Python programlama dili kullanılarak geliştirilen, modüler ve ölçeklenebilir bir veri mühendisliği mimarisine sahiptir. Yöntem bölümü; veri kaynakları, yazılım mimarisi, ön işleme algoritmaları ve fiziksel hesaplama motoru olmak üzere dört alt başlıkta detaylandırılmıştır.

3.1. Veri Kaynakları ve Yapısı Çalışmada kullanılan veriler, havacılık araştırmaları için açık kaynaklı veri sağlayan OpenSky Network veritabanından temin edilmiştir. Veri seti üç ana bileşenden oluşmaktadır:

a) **Operasyonel Uçuş Verileri (flight_list.csv / master_flights):** Projenin ana girdisini oluşturan bu veri seti (metinde flight_id...txt olarak örneklendirilmiştir), her bir satırda benzersiz bir uçuşu temsil eden büyük veri kümesidir. İçeriğinde;

- flight_id: Benzersiz uçuş tanımlayıcısı.
- aircraft_type: Uçak modeli (Örn: A320, B738, B77W).
- adep / ades: Kalkış ve varış havalimanlarının ICAO kodları.
- flown_distance: Uçağın havada kat ettiği gerçek mesafe (varsa).
- actual_offblock_time: Operasyon zaman damgası verileri yer almaktadır.

b) **Havalimanı Referans Verileri (dim_airport.csv):** Konumsal hesaplamaların yapılabilmesi için kullanılan boyut tablosudur. Dünya genelindeki havalimanlarının ICAO kodları (icao), enlem (latitude) ve boylam (longitude) bilgilerini içerir. Bu dosya, eksik mesafe verilerinin tamamlanmasında (imputation) kritik rol oynamaktadır.

c) **Çıktı ve Metadata Dosyaları:**

- fact_flights_emissions_faz1.csv: Modelin hesapladığı emisyon sonuçlarının tutulduğu, İş Zekası (BI) araçlarında "Fact Table" olarak kullanılacak ana çıktı dosyasıdır.
- run_metadata_faz1.json: Her çalışma (run) sonrası üretilen, işlenen satır sayısı, elenen veri miktarı ve toplam emisyon gibi özet istatistikleri içeren denetim dosyasıdır.

3.2. Yazılım Mimarisi ve Pipeline Kurgusu Geliştirilen model, "tek bir script dosyası" yerine, endüstriyel standartlara uygun bir **Pipeline (Boru Hattı)** mimarisi ile src (kaynak kod) ve outputs (çıktı) klasörleri altında yapılandırılmıştır. Bu mimari, kodun yönetilebilirliğini, hata takibini ve Faz-2 geliştirmelerine adaptasyonunu kolaylaştırmaktadır. Proje, aşağıdaki üç temel Python modülü üzerinden çalışmaktadır:

- **faz1_config.py (Konfigürasyon ve Kontrol Merkezi):** Projenin sinir merkezidir. Tüm sabitler, dosya yolları ve parametreler burada tanımlanmıştır. Kod incelendiğinde; Config sınıfı altında ICAO_CO2_FACTOR = 3.15 (Jet A-1 yanma katsayısı), KM_PER_NM = 1.852 (birim dönüşümü) ve PROCESS_LIMIT (test amaçlı veri limiti) gibi kritik değişkenlerin yönetildiği görülmektedir. Bu yapı, parametre değişikliklerinin (örneğin farklı bir yakıt türü için emisyon faktörünün değiştirilmesi) kodun derinliklerine inmeden yapılabilmesini sağlar.

- **faz1_build_master.py (Veri İnşası ve Temizleme - ETL):** Ham verinin analize hazır hale getirildiği modüldür. pandas ve numpy kütüphaneleri kullanılarak veri birleştirme (merge) ve temizleme işlemleri yapılır.
    - **Konumsal Eşleştirme:** load_flights ve load_airports fonksiyonları ile veriler okunur. Uçuş listesi, dim_airport tablosu ile birleştirilerek her uçuşun kalkış ve varış koordinatları (dep_lat, arr_lon) master tabloya eklenir.
    - **Haversine Algoritması:** Küresel geometri kullanılarak iki nokta arasındaki en kısa mesafe (Great Circle Distance) hesaplanır. Kod içerisindeki haversine_km fonksiyonu, trigonometrik formüllerle bu teorik mesafeyi üretir.
    - **Veri Bayraklama (Flagging):** Veri kalitesini ölçmek için flag_missing_airport (koordinat eksikliği) ve flag_flown_lt_haversine (fiziksel imkânsızlık kontrolü) gibi mantıksal sütunlar türetilir.
- **faz1_run_emissions.py (Fiziksel Hesaplama Motoru):** Temizlenmiş veriyi alarak yakıt ve emisyon hesaplamalarını yapan ana simülasyon motorudur. Bu modül, uçak performans veritabanını (AIRCRAFT_DB) ve fiziksel formülleri barındırır. Sonuçlar fact tablosu olarak dışarı aktarılır.

3.3. Ön İşleme Stratejisi: Hibrit Mesafe Modeli Uçuş emisyon hesaplamalarında en kritik değişken "mesafe"dir. OpenSky verilerindeki flown_distance sütunu, gerçek operasyonu yansıttığı için en değerli veridir ancak sensör hataları veya kapsama alanı sorunları nedeniyle eksik (null) veya hatalı olabilir. Bu sorunu çözmek için faz1_build_master.py içerisinde yenilikçi bir **Hibrit Mesafe Modeli** geliştirilmiştir:

- **Birincil Kaynak:** Eğer flown_distance verisi mevcutsa ve teorik minimum mesafe (Haversine) ile tutarlıysa (yani Haversine'den çok düşük değilse), bu değer kullanılır.
- **İkincil Kaynak (Fallback):** Veri eksik veya hatalıysa, model otomatik olarak kalkış-varış koordinatları üzerinden hesaplanan hav_km (Haversine) değerini devreye alır.

Kod içerisinde bu mantık, build_distance_columns fonksiyonu ile yönetilmekte ve hangi kaynağın kullanıldığı distance_source sütununa işlenmektedir. Bu yaklaşım, eksik veri nedeniyle analiz dışı kalacak binlerce uçuşun (run metadata'da görüldüğü üzere) kurtarılmasını ve modelin sürdürülebilir çıktı üretmesini sağlamaktadır.

3.4. Yakıt Tüketimi ve Hesaplama Algoritması Emisyon hesaplamaları, faz1_run_emissions.py dosyasında tanımlanan fiziksel modellere dayanmaktadır. Faz-1 kapsamında, meteorolojik rüzgâr verisi entegrasyonu (Faz-2 hedefi) hariç tutulmuş, "rüzgâr etkisiz" (wind-free) bir temel senaryo kurgulanmıştır.

Model, yakıt tüketimini iki ana bileşende ele alır:

A. Seyir (Cruise) Yakıtı: Uçağın seyir halindeki yakıt tüketimi, uçuş süresi (t) ile yakıt akış debisinin ($\dot{m}_{fuel}$) çarpımıdır. Kod içerisindeki fuel_flow_kgph fonksiyonu, uçak tipine özgü aerodinamik katsayılar (α, β, γ) ve **True Air Speed (TAS)** değerini kullanarak anlık yakıt akışını hesaplar:

$$\dot{m}_{fuel} = \alpha.TAS^3 + \beta.TAS^2 + \gamma$$

Burada TAS, uçağın hava kütlesine göre gerçek hızıdır. Uçuş süresi ise hibrit mesafe (D_{nm}) ve TAS kullanılarak hesaplanır:

$$t(saat) = \frac{D_{nm}}{TAS_{kts}}$$

B. LTO (Landing and Take-Off) Yakıtı: ICAO Annex 16 Volume II standartlarına uyum sağlamak amacıyla, her uçuşa standart bir LTO yakıt yükü eklenir. faz1_run_emissions.py içerisindeki LTO_FUEL sözlüğü, uçak tiplerine göre (Örn: A320 için 800 kg, B77W için 2200 kg) sabit değerler atar. Bu yaklaşım, havalimanı çevresindeki operasyonların (taksi, kalkış) emisyon yükünü modele dahil eder.

C. Toplam Emisyon Hesabı: Toplam yakıt tüketimi, LTO ve Cruise bileşenlerinin toplamıdır. Nihai CO_2 emisyonu, ICAO tarafından Jet A-1 yakıtı için belirlenen stokiyometrik yanma faktörü ile hesaplanır:

$$CO_{2(total)} = (F_{cruise} + F_{LTO}) \times 3.15$$

3.5. Çıktı Yönetimi ve Büyük Veri Stratejisi

Büyük veri projelerinde modelin yalnızca çalışması yeterli değildir; **tekrar üretilebilirlik (reproducibility)**, **izlenebilirlik (traceability)** ve **denetlenebilirlik (auditability)** esas kriterlerdir. Bu çalışma, Faz-1'de oluşturulan uçuş bazlı emisyon pipeline'ını bu üç prensip üzerine kurmuştur. Bunun için her model koşusu sonunda **run_metadata_faz1.json** dosyası üretilmekte ve koşuya ait kritik kalite göstergeleri (KPI'lar) otomatik biçimde kayıt altına alınmaktadır. Bu metadata dosyası; "kaç satır okundu?", "kaç satır koordinat eksikliği nedeniyle elendi?", "kaç uçuş örneklendi/işlendi?", "hangi parametre setiyle (PROCESS_LIMIT, RANDOM_STATE, MIN/MAX mesafe filtreleri vb.) çalıştırıldı?", "toplam hesaplanan CO_2 nedir?" gibi temel çıktıları saklayarak, aynı çalışmanın farklı ortamlarda veya farklı tarihlerde yeniden üretilebilmesini sağlar.

Bu yaklaşım özellikle iki noktada kritik avantaj sunar:

1. **Hata ayıklama ve veri kalitesi yönetimi:** Örneğin bazı koşularda ADEP/ADES eşleşmeleri zayıfsa veya airports_lookup dosyasında kapsama problemi varsa, flag_missing_airport oranı metadata üzerinden hızla izlenebilir. Böylece sorun "kod mu bozuk?" tartışmasına kaymadan, doğrudan "hangi aşamada kaç kayıt elendi?" şeklinde ölçülebilir bir kalite kontrol mekanizması çalışır.
2. **Denetim izi (audit trail) ve raporlanabilirlik:** Sektörel uygulamalarda (havayolu iç raporlaması, sürdürülebilirlik raporları, çevresel performans değerlendirmeleri vb.) bir metriğin "nereden geldiği" sorusu kaçınılmazdır. Metadata, çıktının dayandığı koşulları kaydettiği için, model sonuçları "tek seferlik hesap" olmaktan çıkıp kurumsal raporlama mantığına yaklaşır.

Bu çalışma kapsamında üretilen **fact_flights_emissions_faz1.csv**, Power BI / Tableau gibi iş zekâsı platformlarına doğrudan aktarılabilecek şekilde bir **Fact Table** mantığında tasarlanmıştır. Tabloda uçuş seviyesinde temel ölçüler (fuel_total_kg, co2_total_kg, distance_nm, co2_per_nm) ve ana kırılımlar (flight_id, aircraft_type, route, adep, ades) tekil anahtarla (flight_id veya türetilmiş key) taşınarak, boyut tablolarıyla (örn. dim_airport.csv) ilişkilendirilebilir bir yapı oluşturulmuştur. Bu sayede veri görselleştirme katmanında hem rota bazlı hem uçak tipi bazlı hem de mesafe segmentasyonuna dayalı analizlerin kurulması mümkün hale gelmiştir.

Not: Faz-1'de büyük veri ölçeği yönetimi için PROCESS_LIMIT ile kontrollü örnekleme yapılmıştır. Bu strateji; ilk doğrulama, BI modeli tasarımı ve stabil sonuç üretimi için tercih edilmiştir. Tam veri üzerinde koşu, Faz-2 kapsamına taşınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Faz-1 modelinin örnek veri seti üzerinde çalıştırılmasıyla elde edilen bulgular, üretilen **fact** ve **metadata** çıktıları üzerinden değerlendirilmiştir. Bulguların önemi, yalnızca emisyon miktarını vermesi değil; **hangi operasyonel segmentte emisyon yoğunluğu yükseliyor** sorusuna veriyle yanıt üretebilmesidir.

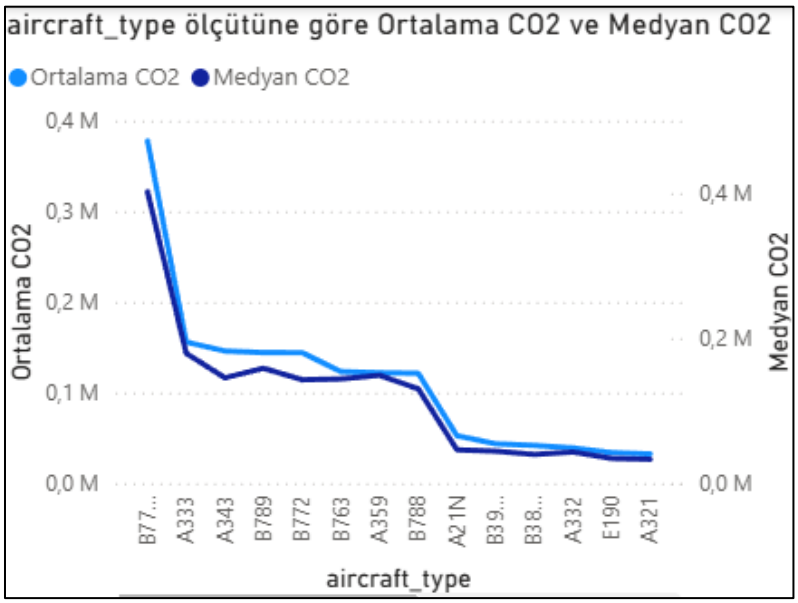
4.1. Emisyon Hacmi ve Operasyonel Etki

Model, işlenen uçuş örnekleminde toplam yaklaşık **234.829 ton CO_2** emisyonu hesaplamıştır. Bu değer, operasyonel yoğunluğun çevresel maliyetini sayısallaştırmakla kalmayıp, sürdürülebilirlik hedefleri açısından "en büyük kaldıracı nerede buluruz?" sorusunun temel girdisini oluşturur. Örneğin yüksek hacimli hub rotaları veya belirli uçak tipleri, toplam emisyon içinde orantısız bir paya sahip olabilmektedir. Bu tür sonuçlar; rota planlama, filo kullanımı ve operasyonel iyileştirme önceliklendirmesi için doğrudan kullanılabilir.

4.2. Uçuş Başına Emisyon Dağılımı ve Segmentasyon

Elde edilen sonuçlarda uçuş başına emisyon dağılımında ortalama (mean) ile medyan arasındaki fark dikkat çekicidir: ortalama emisyon **46.9 ton** iken medyanın **22.9 ton** seviyesinde kalması, dağılımın sağa çarpık olduğunu (heavy-tail) gösterir (Şekil1). Bu durum,

emisyon yükünün önemli bir bölümünün az sayıdaki **uzun menzilli (long-haul)** uçuşlar ve büyük gövdeli uçak tiplerinde yoğunlaştığını; sayıca fazla olan kısa/orta menzil uçuşların ise daha düşük tekil emisyon üretse bile kümülatif etki açısından göz ardı edilemeyeceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1

Bu bulgu, karar destek açısından iki stratejik sonucu beraberinde getirir:

- **Pareto yaklaşımı:** Emisyon azaltımında hızlı kazanımlar için önce "toplam emisyonun büyük kısmını oluşturan küçük segment" hedeflenebilir (ör. belirli wide-body rotaları, belirli yoğun hatlar).
- **Operasyonel disiplin yaklaşımı:** Kısa/orta menzilde çok sayıda uçuş olduğu için küçük yüzdesel iyileştirmelerin bile toplamda ciddi kazanca dönüşmesi mümkündür (ör. taksi süreleri, turnaround optimizasyonu, ağırlık yönetimi).

4.3. Verimlilik Göstergeleri ve Karşılaştırmalı Analiz

Faz-1 çıktılarında üretilen **co2_per_nm (deniz mili başına emisyon)** metriği, uçuşları "mutlak emisyon" yerine yoğunluk perspektifinden kıyaslama olanağı sunmuştur (Şekil2). Mutlak emisyon uzun uçuşlarda doğal olarak büyür; ancak yoğunluk metriği, uçak tiplerinin ve rotaların karbon performansını daha adil biçimde karşılaştırır.

Bu metrik sayesinde:

- Aynı mesafe bandında farklı uçak tiplerinin karbon yoğunluğu kıyaslanabilir,
- Belirli rotalarda "yüksek yoğunluk" üreten operasyonel desenler (ör. kısa mesafe + yüksek LTO etkisi) tespit edilebilir,

- Power BI üzerinde uçak tipi/rota/mesafe segmentleri için performans haritaları (heatmap) üretilebilir.

Önemli not: Bu Faz-1 çalışmasında "A320neo yeni nesil" gibi modelde tanımlı olmayan spesifik alt varyantlara doğrudan hüküm vermek yerine, "dar gövde vs geniş gövde" veya "uçak tipi kategorileri" üzerinden yorum yapmak daha doğru ve savunulabilir olur.

flight_id	Toplam co2_per_nm
248753822	132,98
252713626	116,47
250167834	116,19
255420268	110,28
251260265	109,16
249232482	99,68
254538114	99,45
251253465	99,36
257511057	99,33
251793153	99,30
250724011	99,05
251932369	99,05
251106049	98,98
253241084	98,80
251082276	95,71
Toplam	**198.883,51**

Şekil 2

4.4. Havacılık Sektöründe Yaygın Etki ve Kullanım Senaryoları

Geliştirilen model, yalnızca akademik bir hesaplama aracı değil; farklı paydaşlar için farklı katmanlarda değer üretebilecek bir **karar destek altyapısı** olarak konumlanabilir:

- **Havayolu şirketleri:** Rota bazlı emisyon görünürlüğü, uçak tipi bazlı performans, çevresel KPI takibi, iç raporlama ve sürdürülebilirlik hedeflerinin izlenmesi.
- **Havalimanları / Yer hizmetleri:** Kısa menzil uçuşlarda LTO ve yerde operasyon etkisinin daha yüksek olması nedeniyle, apron ve taksi süreçlerine yönelik iyileştirme alanlarının ortaya çıkarılması.
- **Regülatör ve politika yapıcılar:** Operasyonel emisyon verilerinin standartlaştırılmış bir hesaplama çerçevesinde sunulması, raporlama şeffaflığını artırır; CORSIA gibi mekanizmalarla ilişkili raporlama süreçlerine veri desteği sağlayabilir.
- **Kurumsal sürdürülebilirlik ekipleri:** Emisyon envanteri ve çevresel performans dashboard'ları için otomatik beslenen, izlenebilir ve tekrarlanabilir veri üretimi.

Bu sayede model, "hesapla ve bitir" değil; ölç–izle–kıyasla–iyileştir döngüsüne hizmet eden bir sistem haline gelir.

5. GELECEK ÇALIŞMALAR: LEAD GENERATION VE ENTEGRE SİSTEM VİZYONU

Faz-1, "emisyon hesaplama + BI'a hazır veri modeli" temelini sağlam kurmak için tasarlanmıştır. Faz-2'de sistemin sektörel değerini büyüten yön, modelin yalnızca geçmişi raporlaması değil, aksiyon üretmesi olacaktır. Bu noktada "**lead generation**" mantığıyla entegre tasarım şu şekilde kurgulanabilir:

a) **Anomali/Öncelik Lead'leri Üretme:**
Dashboard, "emisyon yoğunluğu yüksek rota", "belirli uçak tipi için beklenenden sapma", "mesafe bandına göre yüksek CO_2/NM" gibi durumları otomatik etiketleyip bir "Aksiyon Listesi" oluşturabilir. Yani karar vericiye ham veri değil, lead gider: "Şu 10 rota incelemeye değer."

b) **Kurala Dayalı Öneri Motoru:**
Basit ama etkili bir kural setiyle (ör. mesafe bandı + uçak tipi + yoğunluk eşiği) operasyon ekibine öneriler üretilebilir: "Bu segmentte ağırlık optimizasyonu/slot planlama/rota düzeltmesi önceliklendir." şeklinde direktifler verilebilir.

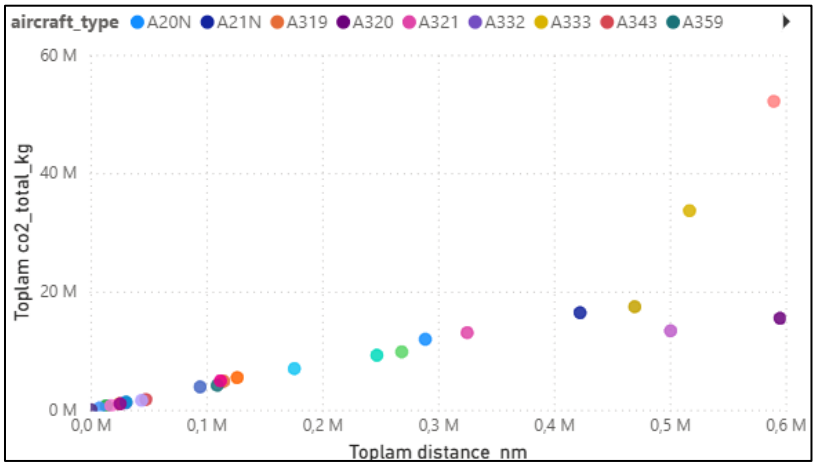
c) **Meteoroloji ve Zaman Boyutu Entegrasyonu (Faz-2):**
Rüzgâr etkisi, sezonluk paternler ve zaman serisi analizi eklendiğinde; emisyon yoğunluğundaki değişimin "operasyon mu yoksa çevresel koşul mu?" kaynaklı olduğu ayrıştırılabilir.

d) **Kurumsal Entegrasyon (ERP / Planlama Sistemleri):**
Orta vadede model çıktıları; uçuş planlama modüllerine, yakıt planlamaya veya sürdürülebilirlik raporlama altyapılarına veri sağlayan bir servis şeklinde konumlandırılabilir. Böylece sistem, BI raporundan çıkar, operasyonel süreç içinde yaşayan bir bileşene dönüşür.

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Havacılık sektörünün 2050 net sıfır emisyon hedeflerine ulaşabilmesi, yalnızca yeni nesil teknolojilerin (hidrojen, elektrikli uçaklar vb.) olgunlaşmasını beklemekle değil; mevcut operasyonların **veri temelli, ölçülebilir ve izlenebilir** biçimde yönetilmesiyle mümkündür. Bu bağlamda, uçuş bazlı emisyonların doğru hesaplanması ve operasyonel segmentler düzeyinde görünür kılınması, sürdürülebilirlik stratejilerinin temel yapı taşlarından biri haline gelmektedir. Bu çalışmanın Faz-1 aşamasında; açık kaynaklı OpenSky Network uçuş verileri kullanılarak, uçuş bazlı karbondioksit (CO_2) emisyonlarını hesaplayan **kararlı (stable), açıklanabilir ve ölçeklenebilir** bir karar destek pipeline'ı başarıyla kurulmuştur. Geliştirilen model; veri toplama, ön işleme, mesafe standardizasyonu, yakıt tüketimi ve CO_2 hesaplama adımlarını modüler bir yapı altında birleştirerek, büyük veriyle çalışmaya uygun bir mimari sunmuştur. Çalışmanın en önemli çıktılarından biri, ICAO Annex 16 standartlarının bu kez bir sertifikasyon prosedürü olarak değil, **operasyonel veriler için referans bir çerçeve (benchmark)** olarak uyarlanmasıdır. Annex 16 Volume II kapsamında tanımlanan LTO (Landing and Take-Off) çevrimi, modelde uçuş başına sabit bir emisyon bileşeni olarak ele alınmış; yakıt tüketiminden CO_2 türetme yaklaşımı ise Annex 16 Volume III'te tanımlanan standart dönüşüm mantığıyla ilişkilendirilmiştir. Bu yaklaşım, modelin hem akademik hem de sektörel açıdan savunulabilirliğini artırmıştır.

Faz-1 kapsamında elde edilen sonuçlar, emisyon yükünün uçuşlar arasında homojen dağılmadığını açık biçimde ortaya koymuştur. Uzun menzilli ve geniş gövdeli uçaklar mutlak emisyon açısından baskın bir paya sahipken, kısa ve orta menzilli uçaklar emisyon yoğunluğu ve kümülatif etki açısından göz ardı edilemeyecek bir rol oynamaktadır (Şekil3). Özellikle **co_2_per_nm** metriği sayesinde, uçuşların yalnızca toplam emisyonları değil, mesafe başına karbon yoğunlukları da karşılaştırılabilir hale gelmiştir. Bu durum, "hangi uçuşlar gerçekten problemli?" sorusuna operasyonel düzeyde yanıt üretilebilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3

Modelin bir diğer güçlü yönü, büyük veri projelerinde sıklıkla ihmal edilen çıktı yönetimi ve denetlenebilirlik konusuna özel olarak odaklanmasıdır. Her koşuda üretilen run_metadata_faz1.json dosyası sayesinde; işlenen uçuş sayısı, elenen kayıtlar, kullanılan parametreler ve toplam hesaplanan emisyon gibi kritik göstergeler kayıt altına alınmış; böylece model çıktıları tekrarlanabilir ve denetlenebilir hale getirilmiştir. Bu özellik, geliştirilen yapıyı yalnızca bir akademik çalışma değil, aynı zamanda kurumsal raporlama ve sürdürülebilirlik izleme süreçlerine uygun bir araç haline getirmektedir. Gelecek çalışmalar (Faz-2) kapsamında, modelin karar destek kapasitesinin daha da artırılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, faz1_config.py dosyasında yer alan USE_WEATHER parametresinin aktif edilmesiyle, meteorolojik rüzgâr verilerinin (GRIB2 veya Parquet formatında) modele entegre edilmesi planlanmaktadır. Rüzgâr etkisinin yer hızı (Ground Speed) ve uçuş süresi üzerindeki etkisi dikkate alındığında, bu entegrasyon emisyon tahminlerinin hassasiyetini artıracak; özellikle aynı rota üzerindeki farklı zaman dilimleri ve mevsimsel koşullar arasındaki farkların analiz edilmesine olanak sağlayacaktır. Bununla birlikte, Faz-2'de modelin yalnızca geçmiş emisyonları raporlayan bir yapıdan çıkarak, aksiyon üretmeye yönelik bir karar destek sistemine dönüşmesi hedeflenmektedir. Emisyon yoğunluğu yüksek rotaların otomatik olarak işaretlenmesi, uçak tipi–mesafe kombinasyonlarına dayalı önceliklendirme listelerinin (lead generation) üretilmesi ve bu çıktılarının uçuş planlama veya sürdürülebilirlik ekiplerine doğrudan girdi sağlaması, sistemin operasyonel değerini önemli ölçüde artıracaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma; havacılık sektöründe uçuş bazlı CO_2 emisyonlarının hesaplanması ve analiz edilmesi için kara kutu olmayan, veri kalitesi farkındalığına sahip ve iş zekâsı

araçlarıyla entegre edilebilir bir temel altyapı sunmuştur. Geliştirilen Faz-1 pipeline'ı, ulusal havayolu şirketleri, havalimanı işletmeleri ve havacılık otoriteleri için stratejik bir emisyon izleme ve karar destek aracı olma potansiyeline sahiptir. Faz-2 ile birlikte bu altyapının, sürdürülebilir havacılık hedeflerine katkı sağlayan entegre bir dijital sisteme dönüşmesi mümkün görünmektedir.

KAYNAKÇA

Barutçu, S. B., & Çolakoğlu, Ü. (2024). Havayolu Taşımacılığında Sürdürülebilirlik Analizi; Türkiye. *Journal of Travel and Tourism Research*, 24, 106-124.

Clean Air Task Force. (2023). *Decarbonizing Aviation: Enabling Technologies for a Net-Zero Future*. Boston: CATF.

European Commission. (2023). *Reducing emissions from aviation*. Climate Action.

Gössling, S., & Cesano, F. (2014). The Carbon Footprint of the Airline Industry: A Critical Analysis of CORSIA. *Journal of Transport Geography*, 38, 112-120.

ICAO. (1993). *Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume II: Aircraft Engine Emissions*. International Civil Aviation Organization.

ICAO. (2017). *Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume III: Aeroplane CO2 Emissions*. International Civil Aviation Organization.

ICAO. (2022). *Realizing Aviation's Sustainable Future*. Montreal: ICAO Environmental Report.

IPCC. (1999). *Aviation and the Global Atmosphere*. Cambridge University Press.

Jalalian, M., Gholami, S., & Ramezanian, R. (2019). Analyzing the trade-off between CO2 emissions and passenger service level in the airline industry. *Journal of Cleaner Production*, 206, 251-266.

Lee, D. S., et al. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.

MDPI. (2021). Energy-Efficient Path Planning for Commercial Aircraft Formation Flights. *Aerospace*, 8(1).

OpenSky Network. (2024). *The OpenSky Network 2022 Dataset*. TUDelft.

Our World in Data. (2023). *CO2 emissions from aviation*. Retrieved from https://ourworldindata.org.

Sun, J., Ellerbroek, J., & Hoekstra, J. (2020). Analysis of Aircraft Fuel Burn and Emissions in the European Airspace using OpenSky Data. *Transportation Research Part D*, 84, 102370.

Yavaş, V. (2021). Havacılıkta Dijitalleşme ve Verimlilik İlişkisi Üzerine Bir İçerik Analizi. *Verimlilik Dergisi*, (Özel Sayı), 225-240.

Üreden, A., & Özden, S. (2018). Kurumsal Karbon Ayak İzi Nasıl Hesaplanır: Teorik Bir Çalışma. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 98-108.

E-TİCARET PLATFORMLARININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ VE BİBLİYOMETRİK ANALİZ İLE SEÇİMİ

Aslı GÜLER
Sakarya Üniversitesi,
asli.guler1@ogr.sakarya.edu.tr – 0009-0001-5737-5212

Doç. Dr. Ayten YILMAZ YALÇINER
Sakarya Üniversitesi,
ayteny@sakarya.edu.tr – 0000-0001-8160-812X

ÖZET

Bu çalışma, e-ticaret ve e-ticaret platformları üzerine detaylı bir analiz sunmaktadır. E-ticaretin ve e-ticaret platformlarının hem iş dünyasında hem de akademik çevrelerde giderek artan bir öneme sahip olması, bu alanda bibliyometrik bir profilin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır. Bibliyometrik analiz, belirli bir alandaki bilimsel yayınları ve bu yayınlar arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla kullanılan önemli bir araştırma yöntemidir.

Çalışmada, alanın güçlü yönlerini ve mevcut eksikliklerini ortaya koyarak literatürdeki boşluklara ışık tutmak amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında; 2021–2024 yılları arasında, dili İngilizce olan ve Web of Science (WoS) veri tabanında yayımlanmış 821 adet çalışma incelenmiştir. Bu doğrultuda, e-ticaret ve e-ticaret platformları alanındaki akademik yayınlar analiz edilerek alandaki genel eğilimler ve hangi konularda yoğunlaşma olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Araştırmada, VOSviewer yazılımının sunduğu analiz kriterleri doğrultusunda alandaki yenilikçi ve öne çıkan konular tespit edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen veriler, VOSviewer'ın sağladığı çeşitli görselleştirme araçları kullanılarak sunulmuş ve analizlerin daha anlaşılır ve anlamlı hale getirilmesi sağlanmıştır. Satıcılar e-ticaret platformu seçiminde bazı kriteri göz önüne almakta ve buna göre bir tercih yapmaktadırlar. Hazır-giyim perakendeciliği yapan bir işletme kendine uygun bir e-ticaret platformu seçmek istemektedir. Bu çalışmada belirlenen kriterlere göre AHP ve TOPSİS yöntemi kullanılarak işletme için en uygun e- ticaret platformuna karar verilip bir çözüm önerisi sunulmak istenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Bibliyometrik analiz, e-ticaret, AHP

1. GİRİŞ

1.1. E-TİCARET

E-Ticaret, günümüz değişen ve gelişen şartlarında ortaya çıkmış ve hayatımıza girmiştir. Günümüzde kolaylığı ve hızlılığı sebebiyle kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Teknolojik gelişmelere ayak uydurabilmek ve hızla değişen moda trendlerini yakalayabilmek için satıcılar ve girişimcilerde eticarette yer almak istemektedirler. E-Ticarette oldukça fazla ürün kategorisi bulunmaktadır.
Kullanıcılar hemen hemen tüm ihtiyaçlarını buradan karşılayabilmektedirler. [12]

1.1.1. E-TİCARETİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

- Avantajlarından bazıları şunlardır; [7],[8],[9]
- Yurtdışına satışa açık olabilmesi,
- Sürekli ulaşılabilir olması,
- Ürün çeşitliliğinin çok geniş olması,
- Ürün erişiminin kolay olması,
- Taleplere hızlı dönüş yapılabilmesi,
- Pazarlama aşamalarının daha az ve kolay olması.
- Rakiplere göre daha daha avantajlı olabilme,
- Stok maliyetleri olmadan ürün satışı yapabilme,
- Reklam ve tanıtım maliyetlerinin daha az olması,
- Dezavantajlarından bazıları şunlardır;
- Altyapılarının yetersizliğinden kaynaklı oluşabilecek problemler,
- Güvenlik ile ilgili oluşabilecek problemler,
- Erişimin kolay olmasından dolayı satıcı çeşitliliğinin fazla olması ve buna bağlı kalite ile ilgili oluşabilecek problemler,
- Yatırım analizlerinin daha zor olması ve belirsizlik içermesi,
- Vergi kontrollerinin daha zor olması ve denetimle ilgili çıkabilecek problemler,

1.2. E-TİCARET PLATFORMLARI

E-Pazaryeri, satıcılar ve alıcıları online şekilde bir araya getiren, birden fazla markayı birden fazla çeşitte ürünü aynı anda barındıran sitelerdir. Alıcılar eş zamanlı olarak bu farklı çeşitten ürünleri satın alabilirler. Gelişen teknolojiyle hayatımıza giren bu yeni çeşit ticaret sistemi, kolaylığı ve erişilebilmesinin yüksek olması nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Klasik ticaretin dezavantajlarını barındırmayan e-pazaryerleri satıcıların daha yüksek hacim satış hacmi için ve yeni düzene ayak uydurmak istemeleri nedeniyle satıcılar için zorunlu bir hale gelmiştir. Bu platformlar, satıcılara sağladıkları hizmetten belli bir pay almaktadırlar.[11]

1.2.1. E-TİCARET PLATFORMLARININ AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

- Geniş müşteri tabanı: E-pazaryerleri, büyük bir müşteri kitlesine erişim sağlar ve ürünlerinizi geniş bir kitleye sunmanıza olanak tanır.
- İşletme kolaylığı: Pazaryerleri genellikle kullanıcı dostu arayüzlere sahiptir ve işletme süreçlerini kolaylaştırır.
- Pazarlama ve reklam olanakları: Pazaryerleri genellikle güçlü pazarlama ve reklam araçları sunar, böylece ürünlerinizi daha geniş bir kitleye tanıtabilirsiniz.
- Güvenilirlik ve güvenlik: Tanınmış e-pazaryerleri genellikle güvenilirlik ve güvenlik konusunda daha sağlam sistemlere sahiptirler.
- Lojistik destek: Bazı e-pazaryerleri, teslimat ve lojistik süreçlerini yönetme konusunda işletmelere destek sunar.

E-pazaryerlerinin dezavantajları:

- Komisyon maliyetleri: Pazaryerleri genellikle işlemlerden belirli bir komisyon alır, bu da maliyetleri artırabilir.
- Rekabet: Pazaryerleri genellikle yoğun rekabet ortamlarıdır ve benzer ürünler arasında fark yaratmak zor olabilir.
- Özelleştirme sınırlamaları: Bazı pazaryerleri, ürün listeleme ve özelleştirme konusunda sınırlamalar getirebilir.
- Marka kontrolü: Ürünlerinizi pazaryerlerinde satarken marka kontrolünü kaybetme riski bulunabilir.
- Müşteri ilişkileri yönetimi: Pazaryerlerindeki müşteri ilişkilerini yönetmek ve müşteri sadakatini oluşturmak zor olabilir.

[8],[9],[10]

1.3. BİBLİYOMETRİK ANALİZ

Literatürde gün geçtikçe artan çalışmalar ölçüm aracı kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Alan Pritchard bibliyometrik analiz terimini 1969 yılında ilk kez kullanan kişi olarak geçmektedir. [1]

Bu analiz türü, belirli bir araştırma alanındaki yayınların sayısı, yayınlanma sıklığı, atıf sayısı, yazarlar, kurumlar ve ülkeler gibi çeşitli metrikleri değerlendirir. Bibliyometrik analiz, akademik performansı ölçmek, araştırma trendlerini belirlemek, bilimsel işbirliklerini analiz etmek ve literatürdeki boşlukları tespit etmek için kullanılır.

Bibliyometrik analiz nicel olarak bir değerlendirme sağlamaktadır.

Bibliyometrik analiz ile ilgili temel kavramlar şu şekilde verilebilir;

- Atıf analizi
- Yayın sayısı
- H-indeksi
- Co-Atıf analizi
- Anahtar kelime analizi [3]

Vol. 1 - ISBN NR: 978-625-5694-65-2

1.3.1. BİBLİYOMETRİK ANALİZ ADIMLARI

1. Bibliyometrik analizin ilk adımı araştırma sorusunun belirlenmesidir. Yapılacak analizin neyi hedeflediği ve hangi sorulara cevap vermek istenildiğinin belirlenmesidir.
2. Araştırmanın amacını net bir şekilde belirlemek.
3. Araştırmanıza en uygun ve en güvenilir veri tabanından, ilgili anahtar kelimelerine ve kriterlere uygun bibliyografik verilerin toplanması.
4. Toplanan verilerin analiz için uygun hale getirilmesi.
5. Veri analizinin yapılması. Performans analizi ve bilimsel haritalama olarak iki çeşit veri analizi yapılabilmektedir

Performans analizi: yayın sayısı, atıf sayısı gibi metrikler kullanılarak performans değerlendirilmesi yapılır.

Bilimsel haritalama: Co-atıf analizi, anahtar kelime analizi gibi yöntemler kullanılarak literatür haritaları oluşturularak yapılır.

6. Elde edilen bulgular, araştırma soruları ve amaçları doğrultusunda yorumlanır ve araştırma alanındaki eğilimler, ilişkiler tespit edilir. [2]

1.4. WEB OF SCIENCE

WOS, bir çok konferansı, yayınlanmış kitapları, akademik çalışmaları ve daha fazlasını bünyesinde barındıran veri tabanlarından oluşmaktadır.

Bu çalışmada araştırma kolaylığı, geniş arama opsiyonlarından ve arayüzünden dolayı WOS veri tabanına odaklanılmış, veriler buradan elde edilmiştir. [4] [1]

1.5. VOSVİEWER

Bu çalışmada bilimsel haritalama yöntemi kullanılacaktır. Bilimsel haritalama yapmaya olanak sağlayan yazılım araçları mevcuttur. Bunlardan bazıları; BiblioMaps, bibexcel, biblioshiny, citespace, VOSviewer'dır. [1]

Bilimsel haritalama yöntemi için kullanılacak birden çok yazılım programı bulunsada herbirinin birbirinden farklı özellikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada veri yükleme kolaylığı ve harita görselleştirmesi alanında iyi olması sebebiyle VOSviewer tercih edilmiştir.

VOSviewer'ın bazı önemli özellikleri;

1. Ağ Haritalama: Yazarlar, yayınlar, anahtar kelimeler ve daha fazlası arasındaki ilişkileri görselleştirir.
2. Kümeleme: Araştırma alanlarındaki alt konuları ve grupları belirler.
3. Veri Kaynakları: Web of Science, Scopus, PubMed ve kullanıcı tarafından yüklenen verileri destekler.
4. Çeşitli Analizler: Atıf analizi, ortak yazarlık analizi ve ortak anahtar kelime analizi yapar.
5. Kullanıcı Dostu: Kolay veri yükleme, analiz ve görselleştirme sağlar.
6. Etkileşimli Görselleştirmeler: Detaylı bilgiye erişim ve haritalar üzerinde etkileşim imkanı sunar.

7. Raporlama: Analiz sonuçlarını dışa aktarma ve paylaşma imkanı sağlar.

VOSviewer'ın analiz çeşitleri aşağıda verildiği şekildedir;

- Co-authorship (Birlikte Yazarlık) Analizi

  Birlikte yazarlık analizi, yazarlar, kurumlar ve ülkeler arasındaki işbirliği ağlarını analiz eder.

  Bu, araştırma işbirliklerini ve ortak çalışma kalıplarını ortaya çıkarır.

- Co-occurrence (Birlikte Görünme) Analizi

  Bu analiz, belirli belgelerde birlikte kullanılan anahtar kelimeleri ve terimleri analiz eder.

- Citation (Atıf) Analizi

  Yayınlar arasındaki atıf ilişkilerini analiz eder, belirli bir yayının diğer yayınlar üzerindeki etkisini ortaya çıkarır.

- Co-citation (Birlikte Atıf) Analizi

  İki yayının birlikte ne sıklıkla atıf aldığını analiz eder.

- Term (Terim) Analizi

  Belirli bir araştırma alanında sıkça kullanılan terimleri analiz eder ve bu terimlerin ilişkilerini görselleştirir.

1.6. AHP ve TOPSİS

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karar verme problemlerini çözmek için geliştirilen bir yöntemdir. Her bir karar alternatifini tercihlere, deneyim ve tecrübelere göre karar sürecine entegre ederek çözen bir çok kriterli karar verme yöntemidir.[5], [6]
AHP yönteminin aşamaları aşağıda verildiği gibidir;

1. Problemin tanımlanması ve matematiksel modelin kurulması.
2. Hiyerarşik yapı kurulur ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturmak için önem dereceleri belirlenir.
3. Matrisin tutarlı olup olmadığına bakılır. (Tutarlılık analizi ile)
4. Göreli önem dereceleri belirlenir.
5. Karar problemini çözmek için son adım olan birleştirme(sentez) yapılır ve seçenekler

sıralanır. [5],[13],[14]

Yapılacak uygulamada kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için bu yöntem kullanılmıştır. TOPSİS, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan topsis, seçeneklerin en ideal çözüme yakın olması ve ideal olmayan çözüme uzak olması göz önüne alınarak sıralanır.
TOPSİS yönteminin aşamaları aşağıda verildiği gibidir; 1. Karar matrisi normalizasyon yöntemleriyle normalize edilir.

2. Normalize edilen karar matrisi ağırlıklandırılır.
3. Pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur.
4. Bulunan bu ideal çözümlere uzaklık hesaplanır.
5. Bulunan ideal çözüme benzerlikleri hesaplanır.
6. Bulunan ideal çözüme benzerliklere göre sıralama yapılır.[13] [15]

Yapılacak uygulamada en uygun pazaryeri seçimini bulurken topsis yöntemi kullanılmıştır.

2. ELE ALINAN PROBLEM

E-Ticaret ve E-Pazaryeri kavramları günümüzde gelişen teknolojinin etkisiyle oldukça önem kazanmıştır. Literatürde bu anahtar kelimelerin kullanıldığı oldukça fazla yayın bulunmaktadır. Bu yayınlardan anlamlı sonuçlar çıkarmak, trendin hangi tarafa yöneldiğini görmek için özellikle son yıllarda yapılan çalışmaların incelenmesine ve analiz edilmesine yönelik bir ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Araştırmaların hangi alanlarda yoğunlaştığını, hangi konuların popüler olduğunu ve hangi araştırma boşluklarının bulunduğunu tespit etmek literatürün derinlemesine anlaşılmasına ve yeni araştırma alanlarının belirlenmesine yardımcı olur. Anlamlı sonuçlar çıkarmak için uygun filtreler kullanılması, ulaşılan ağların görselleştirilmesi yenilikleri yakalama konusunda oldukça yardımcı olacağı düşünülmüştür. Bu bitirme çalışması, E-Ticaret ve E-Ticaret platformları üzerine detaylı bir analiz sunmaktadır. E-ticaretin ve E-Ticaret platformlarının hem iş dünyasında hem de akademik çevrelerde büyük önem kazanması, bu konuda bibliyometrik profilinin oluşturulmasını önemli hale getirmektedir.

3. UYGULAMA

Bu araştırmanın temel amacı, e-ticaret ve e-pazaryeri konularında literatürdeki güncel durumunu sistemli bir şekilde inceleyerek, bu konulardaki trendi anlamaya çalışmaktır.

Bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak, sistematik bir biçimde araştırmalar incelenmiştir. Bilimsel bilginin gelişimini incelenmesi, ileride yapılması planlanan çalışmalar için yol gösterici olması, araştırma eksiklerini belirlemesi ve alanın kuvvetli ve zayıf yönlerini belirlemek amacıyla bu araştırma önem arz etmektedir.

Bibliyometrik analizde veri tabanı seçimi, veri kapsamı, veri kalitesi, alan odaklılık, atıf, indeksleme ve erişim kolaylığı gibi nedenlerle büyük önem taşır. Seçeceğimiz veri tabanı, çeşitli dergi ve konferansları ve araştırma alanıyla ilgili en kapsamlı ve güncel verileri sağlamalıdır. Yüksek kaliteli ve güvenilir veri sağlayan bir veri tabanı kullanmak, analizinizin doğruluğunu artırır. E-ticaret ve epazaryeri alanında yapılacak olan araştırmayla en iyi uyum sağlayan veri tabanını seçmek, daha ilgili sonuçlar elde etmemizi sağlar. Bibliyometrik analizlerde atıf sayıları ve indeksleme önemli olduğu için, seçilen veri tabanının atıf indeksleme sistemleri, çalışmamızın etki düzeyini doğru bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olur. [1], [2]

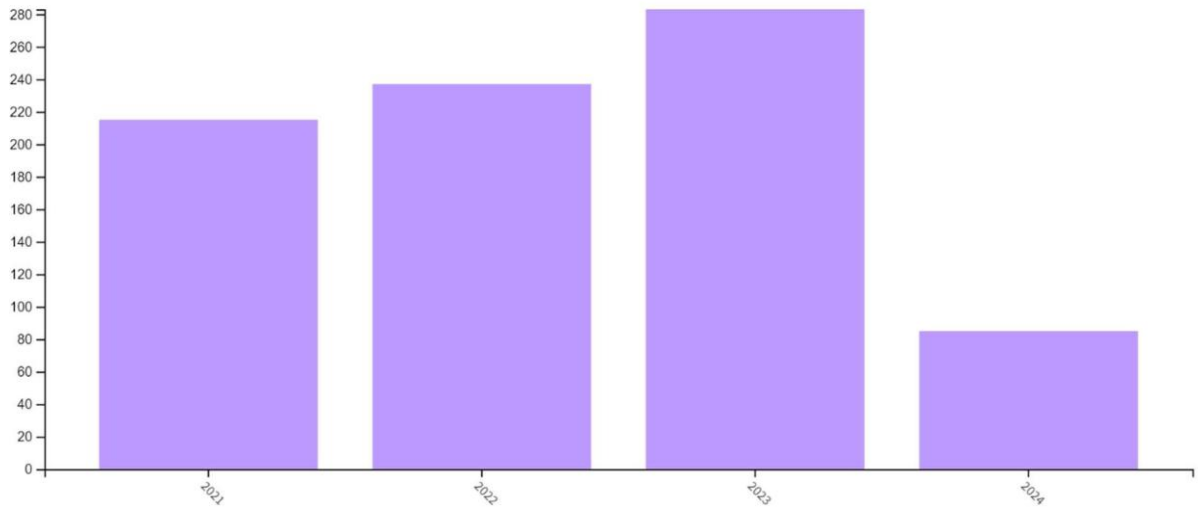
Bu çalışmada yukarıda belirtilen kriterleri en iyi karşılayan Web of Science veri tabanı kullanılmıştır.

Bu araştırma WOS veri tabanında e-ticaret ve e-pazaryeri konularında yapılan çalışmaları incelemektedir. Araştırma sınırlarını belirlerken şu filtreler kullanılmıştır;

Araştırmanın anahtar kelimeleri e-ticaret ve e-pazaryeri olarak belirlenmiş ve bu kelimelerin diğer ifade biçimleri de eklenerek arama gerçekleştirilmiştir.

Yıl olarak son trend belirlenmek istendiği için 2021-2024 arası yayınlanan araştırmalar filtrelenmiştir.

2021-2024 yılları arasında yayınlanan çalışmaların dağılımı aşağıda verildiği şekildedir (Şekil3094).

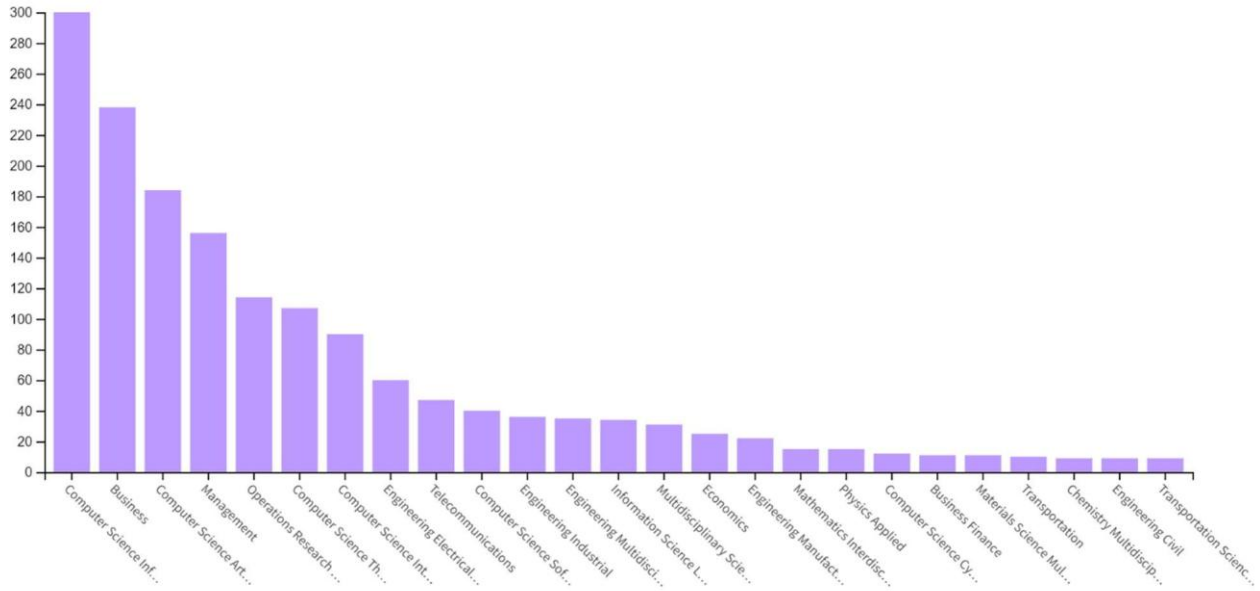


Görsel 4.1. WOS veri tabanında çalışmaların yıllara göre dağılımı Yayın dili İngilizce olan çalışmalar filtrelenmiştir.

WOS kategorisinden konuyla ilgili olan kategoriler seçilmiştir. Bu seçilen kategoriler ve bu kategorilere göre çalışmaların dağılımı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Computer Science Information Systems	300	Physics Applied	15	Imaging Science Photographic Technology	3
Business	238	Computer Science Cybernetics	12	Communication	2
Computer Science Artificial Intelligence	184	Business Finance	11	Industrial Relations Labor	2
Management	156	Materials Science Multidisciplinary	11	Social Sciences Mathematical Methods	2
Operations Research Management Science	114	Transportation	10	Development Studies	1
Computer Science Theory Methods	107	Chemistry Multidisciplinary	9	Ergonomics	1
Computer Science Interdisciplinary Applications	90	Engineering Civil	9	Forestry	1
Engineering Electrical Electronic	60	Transportation Science Technology	9	Green Sustainable Science Technology	1
Telecommunications	47	Mathematics Applied	7	Hospitality Leisure Sport Tourism	1
Computer Science Software Engineering	40	Computer Science Hardware Architecture	6	Materials Science Paper Wood	1
Engineering Industrial	36	Neurosciences	6	Mathematics	1
Engineering Multidisciplinary	35	Regional Urban Planning	6	Medical Informatics	1
Information Science Library Science	34	Mathematical Computational Biology	5	Psychology Applied	1
Multidisciplinary Sciences	31	Linguistics	4	Public Administration	1
Economics	25	Social Sciences Interdisciplinary	4	Statistics Probability	1
Engineering Manufacturing	22	Automation Control Systems	3		
Mathematics Interdisciplinary Applications	15	Education Scientific Disciplines	3		

Görsel 4. 2. WOS veri tabanında araştırma için belirlenen kategoriler ve çalışmaların kategorilere göre dağılımı



Görsel 4.3. Kategorilere göre dağılımı

Bu filtreler uzman görüşü alınarak seçilmiştir. Filtreler sonucunda 5 Haziran 2024 tarihinde yayınlanmış olan toplam 821 adet çalışmaya ulaşılmıştır.

Bibliyometrik analiz yapılırken izlenen adımlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

BİBLİYOMETRİK ANALİZ SORGU AŞAMALARI	
Bibliyometrik Analiz Sorgusu (Anahtar Kelimeler)	("E-commerce" OR "Electronic Commerce" OR "Online Retail" OR "Digital Commerce") AND ("E-commerce Platforms" OR "Online Marketplaces" OR "Digital Platforms")
Yıl Aralığı	2021-2024
Dil	İngilizce
WOS kategorileri	İlgili kategoriler

Görsel 4.4. Bibliyometrik analiz sorgu aşamaları

Araştırma vosviewer üzerinden ilerletilmektedir. Vosviewer da, yapılan araştırmaya uygun olan analiz türleri belirlenmelidir. Yapılan çalışmaya en uygun olan, konunun eğilim gösterdiği alanları bulabilmek için uzman görüşü alınarak şu analizlerin yapılması gerektiğine karar verilmiştir; [2] [14]

1. Ortak Yazar Analizi

2. Yazarların Atıf Analizi
3. Ülkelerin Atıf Analizi
4. Kurumların Atıf Analizi
5. Anahtar Kelime Analizi
6. Metinlerin Bibliyografik Eşleşme Analizi
7. Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizi
8. Yazarların Ortak Atıf Analizi

Bibliyometrik Analizden Elde Edilen Bulguların Analizi Ve Görselleştirilmesi

Ortak Yazar Analizi

Ortak yazarlık analizine göre en fazla iş birliği ve en fazla bağlantıya sahip yazarları analiz edebilmek için en az 1 atıf ve yayın kriteri belirlenerek ağ haritası oluşturulmuştur.

En çok üretkenlik gösteren 10 yazar aşağıda verdiği şekildedir.

Author	Documents
li, zhao	10
li, qian	7
guy, ıdo	7
zheng, bo	7
xiao, yunpeng	6
novgorodov, slava	6
cao, kaiying	6
xu, yuqiu	6
xu, jian	5
hu, li	5

Görsel 4.5. Ortak yazar analizinde en çok üretkenlik gösteren 10 yazar

Bu analizde yer alan, yayın sayısı en fazla olan yazarın Li Zhao olduğu görülmektedir.

En yüksek atıf sayısına sahip ilk 10 yazar aşağıda verildiği şekildedir.

Author	Citations
tran, lobel trong thuy	139
niu, baozhuang	135
shen, zuojun max	117
sun, yiqi	117
aldhyani, theyazn h. h.	116
alqarni, ahmed abdullah	116
alsaade, fawaz waselallah	116
alsharif, nizar	116
alsubari, saleh nagi	116
deshmukh, sachin n.	116

Görsel 4.6. En yüksek atıf sayısına sahip ilk 10 yazar

Bu analizde, yukarıdaki tablodan yorumla Tran Lobel Thuy en yüksek atıf sayısına sahip yazardır.

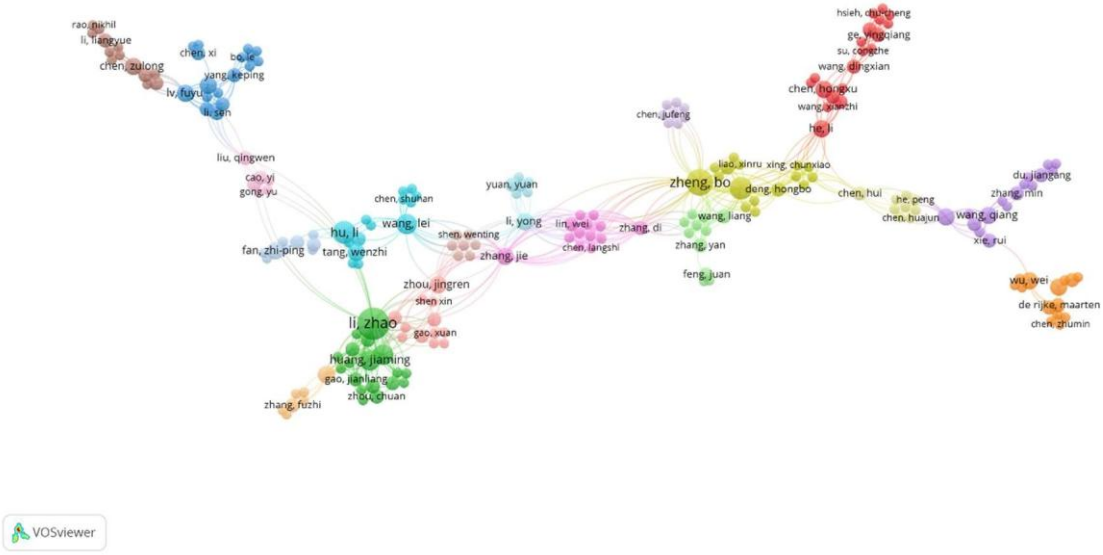
En yüksek bağlantıya sahip ilk 10 yazar aşağıda verilmiştir.

Author	Total link strength
zheng, bo	55
li, zhao	54
xu, jian	33
zhang, jie	30
li, yong	30
huang, jiaming	27
zhang, ji	26
long, bo	26
guo, xiaojie	25
wu, lingfei	25

Görsel 4.7. En yüksek bağlantıya sahip ilk 10 yazar

Bu tablodan yorumla Zheng Bo ve Li Zhao bu araştırmada geniş ve güçlü bir işbirliği ağına sahiptir. Çok sayıda ortak çalışmaya katıldıklarını ve diğer yazarlarla sıkı bir işbirliği içinde olduğunu söyleyebiliriz.

E-ticaret ve e-pazaryeri alanında çalışan araştırmacılar arasındaki işbirliklerinin yapısını ve yoğunluğunu aşağıdaki ağ analizinde görmekteyiz.



Görsel 4.8. Araştırmacılar arasındaki iş birliklerinin ağ haritası

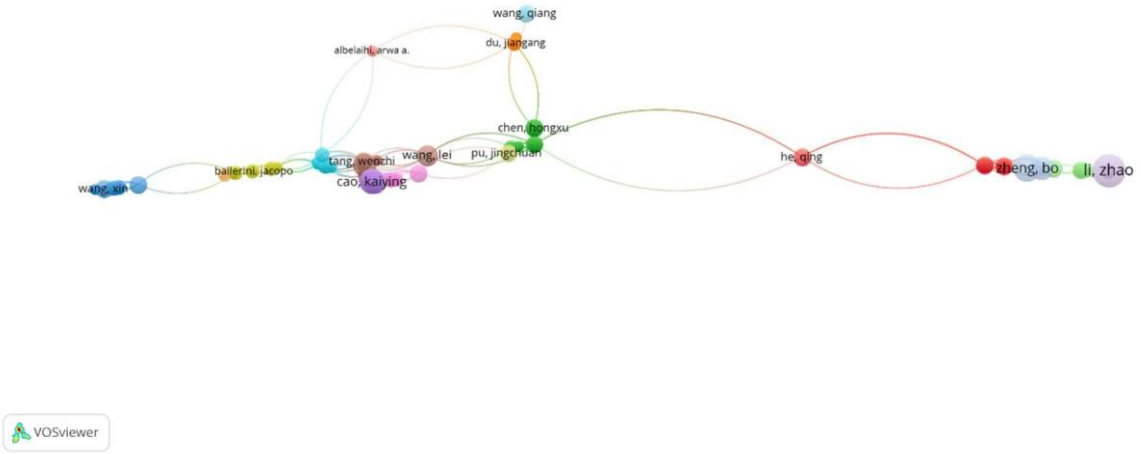
Ağ haritasından da anlaşılacağı üzere Li Zhao ve Bo Zheng gibi yazarlar, geniş ve güçlü işbirliği ağlarına sahiptir ve bu alandaki merkezi figürlerdir. Ağ haritasında toplam 216 yazar, 18 adet küme, ögeler arasında 837 adet bağlantı bulunmaktadır. Ağdaki tüm bağlantıların gücünün toplamı 903 tür.

Yazarların Atıf Analizi

Yazarların atıf ağlarını tespit edebilmek için en az 1 yayın ve atıf kriteri uygulanarak yazar atıf ağ analizi yapılmıştır. En çok atıf alan yazarlar 139 atıf ile Tran Lobel Trong Thuy ve135 atıf ile Niu Baozhuang olmuştur. 16 adet küme,917 adet bağlantı ve toplam bağlantı gücü 955 olarak tespit edilmiştir.

Author	Citations
tran, lobel trong thuy	139
niu, baozhuang	135
shen, zuojun max	117
sun, yiqi	117
aldhyani, theyazn h. h.	116
alqarni, ahmed abdullah	116
alsaade, fawaz waselallah	116
alsharif, nizar	116
alsubari, saleh nagi	116
deshmukh, sachin n.	116

Görsel 4.9. En çok atıf alan ilk 10 yazar



Görsel 4.10. En çok atıf alan yazarların ağ haritası

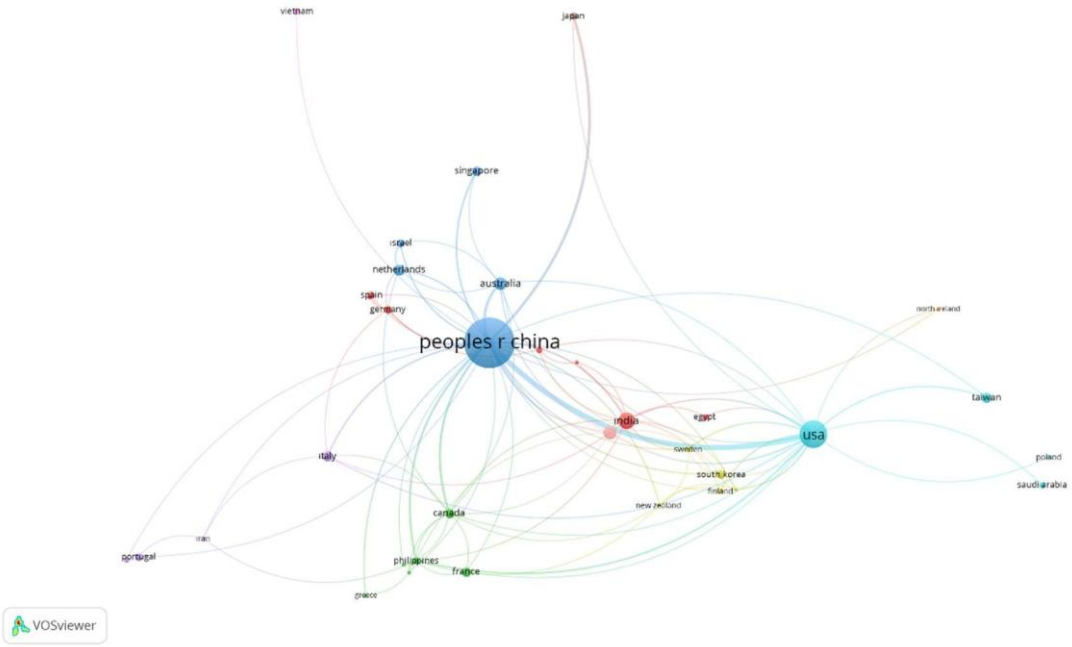
Ülkelerin Atıf Analizi

Bir ülkenin yüksek atıf sayısına sahip olması, bu ülkenin bilimsel araştırmalarının diğer ülkeler tarafından sıkça referans alındığını gösterir. Bu araştırmada ülkelerin ağ haritasını çıkarabilmek için en az 1 atıf alması ve en az 1 eser yayınlaması koşul olarak konulmuştur.

En fazla atıf alan ülke 2819 adet atıf ile Çin Halk Cumhuriyeti olmuştur. Aşağıda en çok atıf alan ilk 10 ülke ve ağ haritası verilmiştir.

Country	Citations
peoples r china	2819
usa	868
india	415
australia	273
england	200
france	179
canada	176
vietnam	141
saudi arabia	120
iraq	116

Görsel 4.11. En çok atıf alan ilk 10 ülke



Görsel 4.12. En çok atıf alan ülkelerin ağ haritası

35 adet ülkeden 10 adet küme oluşmuştur. Toplam bağlantı sayısı 97 ve toplam bağlantı gücü 212 olarak tespit edilmiştir.

Kurumların Atıf Analizi

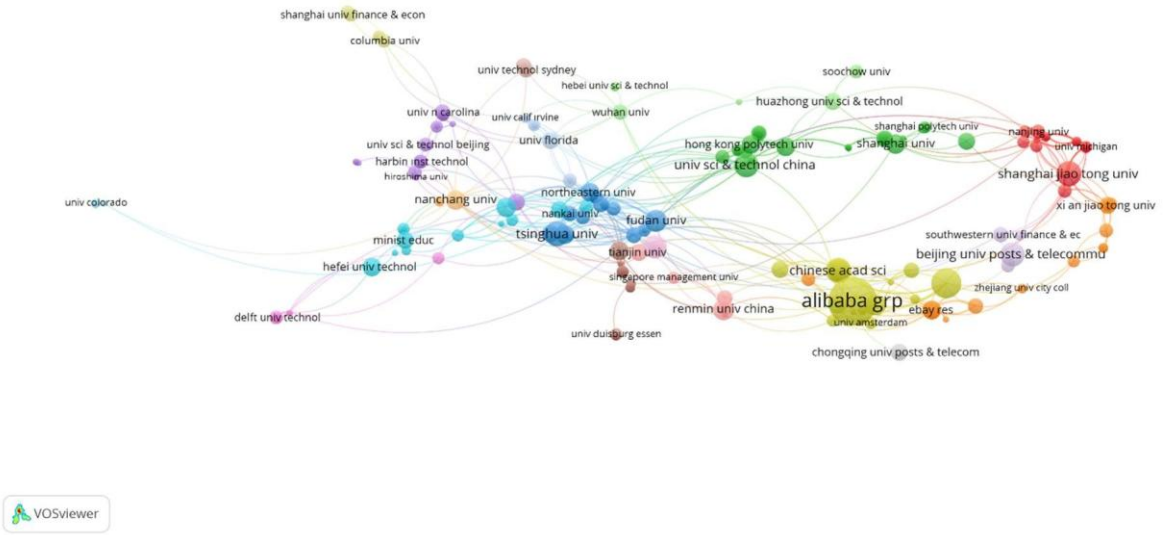
Kurumlar arasında atıf analizi yapabilmek için bir kurum tarafından en az bir atıf alması ve eser yayınlaması kriteri belirlenmiştir.

En fazla atıf alan kurumların 259 atıf ile Alibaba grup ve 208 atıf ile Tsinghua üniversitesi olduğu görülmektedir. Aşağıda en fazla atıf alan 10 kurum verilmiştir.

Organization	Citations
alibaba grp	259
tsinghua univ	208
south china univ technol	171
fudan univ	147
cent south univ	147
xi an jiao tong univ	143
beijing inst technol	142
ton duc thang univ	139
chinese acad sci	130
qingdao univ	129

Görsel 4.13. En çok atıf alan ilk 10 kurum

216 adet gözlem birimi,19 adet küme, 542 adet bağlantı ve toplam bağlantı gücünün 584 olduğu görülmektedir.



Görsel 4.14. En çok atıf alan kurumların ağ haritası

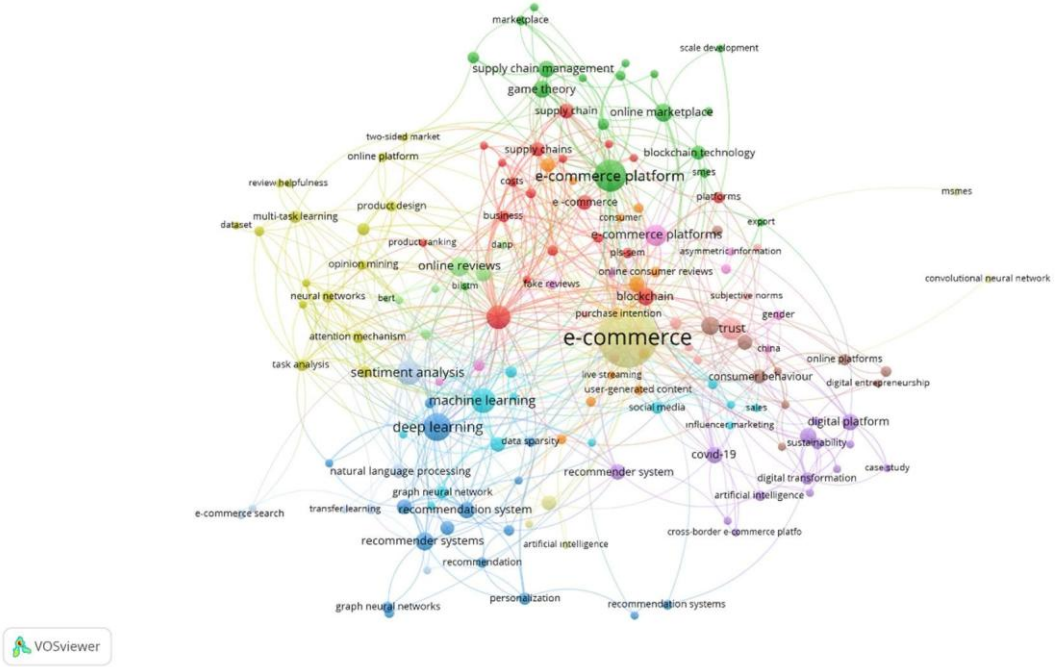
Anahtar Kelime Analiz

Yazar Anahtar Kelimeleri Birlikte Görünme Analizi yapıldığında, e-ticaret ve e-pazaryeri ile ilgili yayınlarda en az 3 defa görülme kısıtı getirilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Keyword	Occurrences
e-commerce	147
e-commerce platform	44
deep learning	32
machine learning	25
sentiment analysis	25
electronic commerce	24
trust	21
e-commerce platforms	19
online reviews	16
online marketplace	14

Görsel 4.15. En çok kullanılan ilk 10 anahtar kelime

En çok kullanılan anahtar kelimenin E-commerce olduğu görülmektedir.



Görsel 4.16. En çok kullanılan anahtar kelimelerin ağ haritası

155 gözlem birimi, 13 küme, 645 bağlantı ve toplam bağlantı gücü 841 olarak analiz edilmiştir.

Metinlerin Bibliyografik Eşleşme Analizi

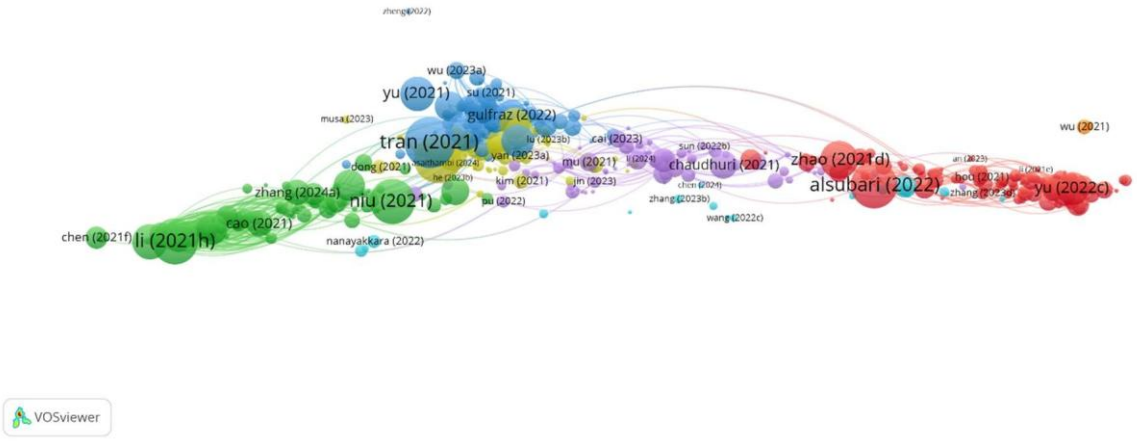
Bibliyografik eşleşme, iki bağımsız kaynağın ortak bir eseri referans olarak göstermesi durumunu ifade eder. Metinlerin bibliyografik eşleşme analizi yapılırken en az 1 atıf almış olması istenmiştir.

Tran (2021) 139 adet alıntıyla en fazla bibliyografik eşleşme olan yayındır. Onu takip eden yayınlar ise 117 adet ile Shen(2023b) ve 116 adet ile Alsubari(2022) olarak görülmektedir.

Document	Citations
tran (2021)	139
shen (2023b)	117
alsubari (2022)	116
li (2021h)	112
niu (2021)	109
zhao (2021d)	78
clement addo (2021)	74
tsunoda (2021)	68
yu (2021)	63
maseeh (2021)	62

Görsel 4.17. En fazla Bibliyografik eşleşme olan eserler

Aralarında bağlantı bulunan 497 eser, 7 küme, 9375 bağlantı ve toplam 18610 bağlantı gücü olduğu analiz edilmiştir.



Görsel 4.18. Bibliyografik eşleşme ağ haritası

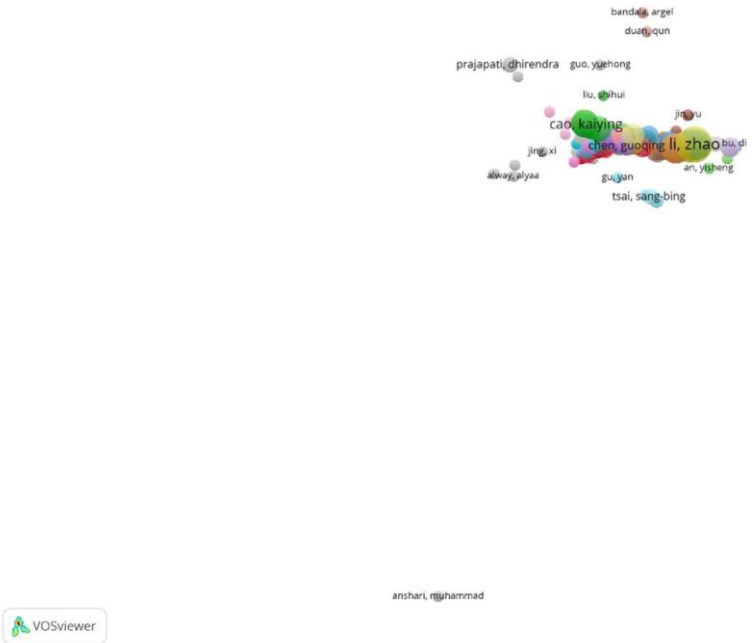
Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizi

Yazarların bibliyografik eşleşme analizini yapmak için en az bir atıf alma ve en az bir eser yayınlama kriteri uygulanmıştır. Tran Lobel Trong Thuy 139 alıntı ile en çok bibliyografik eşleşme alan yazardır.

Author	Citations
tran, lobel trong thuy	139
niu, baozhuang	135
shen, zuojun max	117
sun, yiqi	117
aldhyani, theyazn h. h.	116
alqarni, ahmed abdullah	116
alsaade, fawaz waselallah	116
alsharif, nizar	116
alsubari, saleh nagi	116
deshmukh, sachin n.	116

Görsel 4.19. En fazla bibliyografik eşleşme alan ilk 10 yazar

Yapılan analizde 1757 birim, 30 küme, 148359 bağlantı, toplam 550031 bağlantı gücü bulunduğu görülmektedir.



Görsel 4.20. En fazla bibliyografik eşleşmesi olan yazarların ağ haritası

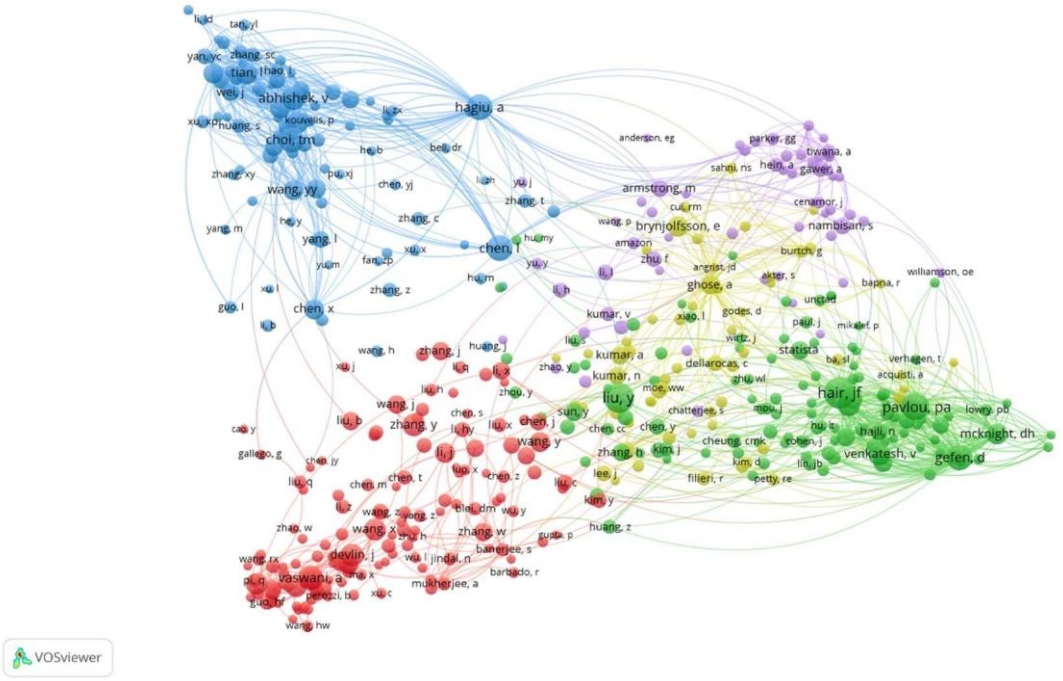
Yazarların Ortak Atıf Analizi

Ortak yazarların birlikte atıfta bulundukları diğer çalışmaların analiz edilmesi için atıf sayısı en az 10 olarak seçilmiştir.
En fazla ortak atıf yapan yazarın Hair Jf.(109) olduğu görülmektedir.

Author	Citations
hair, jf	109
liu, y	100
pavlou, pa	84
hagiu, a	75
gefen, d	73
chen, l	73
vaswani, a	70
choi, tm	67
abhishek, v	60
venkatesh, v	58

Görsel 4.21. En fazla ortak yayın yapan ilk 10 yazar

Toplam 459 birim, 5 küme, 27775 bağlantı ve toplam 74855 bağlantı gücü olduğu görülmektedir.



Görsel 4.22. Ortak yayın yapan yazarların ağ haritası

E-Pazaryeri seçimi için örnek bir uygulama

E-Ticaret ve e-ticaret platformlarıyla ilgili çalışmaların giderek artması bu alanda farklı problemler oluşmasına neden olabilmektedir. Bu problemlerden biri günümüzde e-ticaret platformlarının giderek artmasıdır. Satıcılar e-ticaret platformu seçiminde bazı kriteri göz önüne almakta ve buna göre bir tercih yapmaktadırlar. Hazır-giyim perakendeciliği yapan bir işletme kendine uygun bir e-ticaret platformu seçmek istemektedir. Bu çalışmada belirlediğimiz kriterlere göre AHP ve TOPSİS yöntemi kullanılarak işletme için en uygun eticaret platformuna karar verilip bir çözüm önerisi sunulmak istenmektedir.

E-Ticaret platformlarının alternatifleri, bu alanda uzman kişilerin fikirleri alınarak ve literatür taraması yapılarak önem derecelerine göre sıralanmıştır:

1. Müşteri hizmetleri kalitesi
2. Fiyat rekabeti
3. Teslimat hızı ve güvenilirliği
4. Reklam ve pazarlama stratejileri
5. Ürün çeşitliliği
6. Teknolojik altyapı ve kullanıcı arayüzü
7. İndirim ve kampanya olanakları
8. Müşteri geri bildirimleri ve incelemeler

E-Ticaret Platformlarının kriterlerinin ağırlıklandırılması

Kriterler ağırlıklandırılırken ilk önce karşılaştırma matrisi yapılmıştır.

	Müşteri Hizmetleri	Fiyat Rekabeti	Teslimat Hızı	Reklam ve Pazarlama	Ürün Çeşitliliği	Teknolojik Altyapı	İndirim ve Kampanya	Müşteri Geri Bildirimi
Müşteri Hizmetleri Kalitesi:	1,00	7,00	8,00	7,00	6,00	6,00	5,00	6,00
Fiyat Rekabeti	0,14	1,00	5,00	5,00	4,00	3,00	2,00	3,00
Teslimat Hızı ve Güvenilirl	0,13	0,20	1,00	4,00	3,00	5,00	4,00	4,00
Reklam ve Pazarlama	0,14	0,20	0,25	1,00	3,00	3,00	2,00	3,00
Ürün Çeşitliliği	0,17	0,25	0,33	0,33	1,00	2,00	3,00	2,00
Teknolojik Altyapı ve Kulla	0,17	0,33	0,20	0,33	0,50	1,00	2,00	1,00
İndirim ve Kampanya Olan	0,20	0,50	0,25	0,50	0,33	0,50	1,00	2,00
Müşteri Geri Bildirim ve İn	0,17	0,33	0,25	0,33	0,50	1,00	0,50	1,00

Görsel 4.23. Kriter karşılaştırma matrisi

Karşılaştırma matrisi normalize edilir ve ağırlıkları bulunur.

	Müşteri Hizmetleri	Fiyat Rekabeti	Teslimat Hızı	Reklam ve Pazarlama	Ürün Çeşitliliği	Teknolojik Altyapı	İndirim ve Kampanya	Müşteri Geri Bildirimi	Ağırlıklar
Müşteri Hizmetleri Kalitesi:	0,47	0,71	0,52	0,38	0,33	0,28	0,26	0,27	0,40
Fiyat Rekabeti	0,07	0,10	0,33	0,27	0,22	0,14	0,10	0,14	0,17
Teslimat Hızı ve Güvenilirl	0,06	0,02	0,07	0,22	0,16	0,23	0,21	0,18	0,14
Reklam ve Pazarlama	0,07	0,02	0,02	0,05	0,16	0,14	0,10	0,14	0,09
Ürün Çeşitliliği	0,08	0,03	0,02	0,02	0,05	0,09	0,15	0,09	0,07
Teknolojik Altyapı ve Kulla	0,08	0,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,10	0,05	0,05
İndirim ve Kampanya Olan	0,09	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,09	0,05
Müşteri Geri Bildirim ve İn	0,08	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	0,05	0,04
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Görsel 4.24. Kriterlerin normalize edilme ve ağırlıklarının bulunma matrisi

E-Ticaret Platformlarının alternatiflerinin belirlenmesi ve puanlanması

E-ticaret platformu seçimi için 3 tane alternatif belirlenmiş ve bunlar, uzman görüşleri alınarak kriterlere göre aşağıda verildiği şekilde puanlanmıştır;

	Müşteri Hizmetleri	Fiyat Rekabeti	Teslimat Hızı	Reklam ve Pazarlama	Ürün Çeşitliliği	Teknolojik Altyapı	İndirim ve Kampanya	Müşteri Geri Bildirimi
Ağırlıklar	**0,4**	**0,17**	**0,14**	**0,09**	**0,07**	**0,05**	**0,05**	**0,04**
A alternatifi	8	5	4	5	9	8	6	8
B alternatifi	7	8	9	7	8	8	9	7
C alternatifi	5	6	8	3	6	9	7	7

Görsel 4.25. Alternatiflerin puan matrisi

En uygun alternatifin belirlenmesi

E-ticaret platformu seçimi için en uygun alternatifin belirlenmesi amacıyla TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Aşağıda bu yöntemin adımları gösterilmektedir;

NORMALİZE EDİLMİŞ DEĞERLER	Müşteri Hizmetleri	Fiyat Rekabeti	Teslimat Hızı	Reklam ve Pazarlama	Ürün Çeşitliliği	Teknolojik Altyapı	İndirim ve Kampanya	Müşteri Geri Bildirimi
Ağırlıklar	**0,4**	**0,17**	**0,14**	**0,09**	**0,07**	**0,05**	**0,05**	**0,04**
A alternatifi	0,6810052	0,4472136	0,3152442	0,5488213	0,6689647	0,5533716	0,4656903	0,62854
B alternatifi	0,5958796	0,7155418	0,7092994	0,7683498	0,5946353	0,5533716	0,6985355	0,54997
C alternatifi	0,4256283	0,5366563	0,6304883	0,3292928	0,4459765	0,622543	0,5433054	0,54997

Görsel 4.26. TOPSİS le normalize edilmiş matris

AĞIRLIKLANDIRILMIŞ DEĞERLER	Müşteri Hizmetleri	Fiyat Rekabeti	Teslimat Hızı	Reklam ve Pazarlama	Ürün Çeşitliliği	Teknolojik Altyapı	İndirim ve Kampanya	Müşteri Geri Bildirimi
Ağırlıklar	**0,4**	**0,17**	**0,14**	**0,09**	**0,07**	**0,05**	**0,05**	**0,04**
A alternatifi	0,2724021	0,0760263	0,0441342	0,0493939	0,0468275	0,0276686	0,0232845	0,02514
B alternatifi	0,2383518	0,1216421	0,0993019	0,0691515	0,0416245	0,0276686	0,0349268	0,022
C alternatifi	0,1702513	0,0912316	0,0882684	0,0296364	0,0312184	0,0311272	0,0271653	0,022

Görsel 4.27. TOPSİS le ağırlıklandırılmış matris

AĞIRLIKLANDIRILMIŞ DEĞERLER	Müşteri Hizmetleri	Fiyat Rekabeti	Teslimat Hızı	Reklam ve Pazarlama	Ürün Çeşitliliği	Teknolojik Altyapı	İndirim ve Kampanya	Müşteri Geri Bildirimi
Ağırlıklar	**0,4**	**0,17**	**0,14**	**0,09**	**0,07**	**0,05**	**0,05**	**0,04**
A alternatifi	0,2724021	0,0760263	0,0441342	0,0493939	0,0468275	0,0276686	0,0232845	0,02514
B alternatifi	0,2383518	0,1216421	0,0993019	0,0691515	0,0416245	0,0276686	0,0349268	0,022
C alternatifi	0,1702513	0,0912316	0,0882684	0,0296364	0,0312184	0,0311272	0,0271653	0,022
V*	0,2724021	0,1216421	0,0993019	0,0691515	0,0468275	0,0311272	0,0349268	0,02514
V-	0,1702513	0,0760263	0,0441342	0,0296364	0,0312184	0,0276686	0,0232845	0,022

Görsel 4.28. TOPSİS le pozitif ve negatif ideal çözümlerin bulunması

S1*	0,0752472
S2*	0,034761
S3*	0,1155705
S1-	0,1052552
S2-	0,1075511
S3-	0,0469686

Görsel 4.29. TOPSİS le pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkların bulunması

C1*	0,5831236
C2*	0,7557408
C3*	0,288968

Görsel 4.30. TOPSİS le ideal çözüme göreli yakınlık katsayılarının bulunması

Karar verme ve uygulama sonucu

TOPSIS yöntemiyle çözüme göre yakınlık katsayılarını kullanarak alternatifleri sıralarsak; 2-1-3.

Bu sıralamaya göre karar verilirse e-ticaret platformlarından en uygun olan alternatif 2. alternatiftir.

4.. SONUÇ

Bu çalışmada e-ticaret ve e-ticaret platformu kavramlarına yönelik bir bibliyometrik çalışma gerçekleştirilmiştir. WOS veri tabanında bulunan çalışmalarda meydana gelen değişimlerin gösterilmesi amaçlanmıştır. 2021-2024 yılları arasında yayınlanmış toplam 821 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Çalışmada 2021-2024 yılları arasında yayınlanan çalışma sayısındaki değişim gösterilmeye çalışılmıştır. Bu yıllar arasında anlamlı bir değişim olmadığı söylenebilmektedir.2024 yılında yayınlanan tezlerin diğer yıllara göre daha az sayıda çalışma yayınlandığı görülmektedir. Bu durumun yılın ilk iki çeyreğinde olunmasıyla ilişkili olduğu düşünülmüştür. Yayınlanan çalışmaların kategorilerine bakıldığında en fazla yayın yapılan kategorilerin bilgi sistemleri(300) ve işletme(238) olduğu görülmüştür. Ortak yazar analizi sonuçlarına bakıldığında Zheng Bo(55) ve Li Zhao(54) bu araştırmada geniş ve güçlü bir işbirliği ağına sahiptir. Çok sayıda ortak çalışmaya katıldıklarını ve diğer yazarlarla sıkı bir iş birliği içinde olduğunu söyleyebiliriz. Yazarların atıf analizine bakıldığında en çok atıf alan yazarlar 139 atıf ile Tran Lobel Trong Thuy ve135 atıf ile Niu Baozhuang olmuştur. Bu sonuçlardan yorumla bu iki yazarın e-ticaret ve e-pazaryeri konusunda yaptıkları çalışmaların diğer yazarlar tarafından sıkça referans alındığını, bu alanın gelişimine oldukça katkı sağladıklarını söyleyebiliriz. Ülkelerin atıf analizine bakıldığında Çin Halk Cumhuriyeti'nin (2819) diğer ülkelere oranla bu çalışma alanında etkinlik gösterdiğini söyleyebiliriz. Yazarlar arasında öne çıkan isimlerin Çin halk cumhuriyeti vatandaşı olarak etkinlik gösterdiği görülmektedir. Bu verilerden yorumla E-ticaret ve e-pazaryeri konusunda yapılan çalışmalarda Çin Halk Cumhuriyeti'nin öne çıkmasını destekleyen sonuçlara ulaşıldığını söyleyebiliriz. Kurumların atıf analizine bakıldığında en fazla atıf alan kurumların 259 atıf ile Alibaba grup ve 208 atıf ile Tsinghua üniversitesi olduğu görülmektedir. Öne çıkan

kurumlarında Çin Halk Cumhuriyeti'ne bağlı olarak kurulmaları da yine önceki verileri destekleyen sonuçlara ulaşmamızı sağlamaktadır. Anahtar kelime analizine bakıldığında e-ticaret (147) kelimesinin diğer kelimelere oranla daha çok görüldüğü söylenebilir. Onu takip eden diğer bir anahtar kelime ise e-ticaret platformları (44) olmuştur. Metinlerin bibliyografik eşleşme analizine bakıldığında Tran (2021) 139 adet alıntıyla en fazla bibliyografik eşleşme olan yayındır. Onu takip eden yayınlar ise 117 adet ile Shen(2023b) ve 116 adet ile Alsubari(2022) olarak görülmektedir. Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizine bakıldığında Tran Lobel Trong Thuy 139 alıntı ile en çok bibliyografik eşleşme alan yazardır. Yazarların ortak atıf analizine bakıldığında en fazla ortak atıf yapan yazarın Hair Jf.(109) olduğu görülmektedir.

Bu araştırmadan genel bir sonuca varılmak istenirse, Çin Halk Cumhuriyeti açık ara farkla bu alanda etkinlik göstermektedir. Yıllar içinde gittikçe yaygınlaşan e-ticaret kavramı üzerine yayınlanan çalışmalarda artmaya devam etmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Duman, Orhan. "Web Of Science'ta Listelenen Kodlama Konulu Eğitim Araştirmalarinin Vosviewer İle Bibliyometrik Analizi." Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, 2024.

[2] Yurdakul, Hüseyin. "Dijital İkiz Uygulamalarının İşletme Maliyetlerine Etkisi: Bibliyometrik Ve Vaka Analizi." Yüksek Lisans Tezi, Ostim Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Ankara, 2024.

[3] Çevirgen, Funda. "Yeşil Finans Yazınına İlişkin Bibliyometrik Analiz." Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Ticaret Ve İşletmecilik Anabilim Dalı, Isparta, 2024.

[4] Ankara Üniversitesi Açık Ders Notları
Https://Ackders.Ankara.Edu.Tr/Plugnfle.Php/105296/Mod_Resource/Content/0/11.%C3%87ok %20%C3%96l%C3%A7%C3%Bctl%C3%Bc%20karar%20verme%20y%C3%B6ntemler Iii.Pdf

[5] Http://Www.Sabttuncel.Com/Anal Tk-Hyerars-Surec/ (07.01.2024)

[7] Uzuner, F. "E-Ticaret Sitelerindeki Ürün Yorumlarının İncelenmesi: X Y Z Kuşağı Üzerine Bir Araştırma." Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medipol Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2023.

[8] Çağlar, S. "Markaların Sanal Pazaryer Seçiminde Etkili Olan Faktörlerin Belirlenmesi." Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2022. [9] Https://Www.Stockmount.Com/E-Ticaretin-Avantajlar-Ve-Dezavantajlar-Nelerdir, (07.01.2024)

[10] Altunay, S. "E-Ticarette Dijital Pazarlama Karması Unsurlarının Tüketicinin Satın Alma Davranışı Üzerindeki Etkisi." Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, İşletme Yönetimi Bilim Dalı, İstanbul, 2023.

[11] Demirbağ, S. S. "E-Ticaret Alanında Elektronik Pazaryer Seçimine Yönelik Bir Uzman Sistem Tasarımı." Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2023.

[12] İçöz, F. "E-Ticaret Mağaza Ürün Çeşitliliğinin Tüketicinin Satın Alma Davranışına Etkisinin Moda Kategorisi Özelinde İncelenmesi." Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Muğla, 2023.

[13] Sakarya Üniversitesi. "Karar Teorisi Ve Analiz Ders Notları." Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi.

[14] Ömürbek, N. Ve A. Şmşek, Analtk Hyerarş Sürec Ve Anal Tk Ağ Sürec Yöntemler Le Onlne Alışverş Ste Seçm, Yönetm Ve Ekonom Araştırmalar Dergs, 22, 308-315, 2014

[15] Aslan, A. , M. Hüseynoğlu, Ve C. Budak, İşe Alım Süreçlernde Aşamalı Olarak Topsıs Ve Vıkor Yöntemler Uygulanarak Ş Gören Seçm Yapılması, Dcle Unversty Journal Of Engneerng, 14, 116-120, 2023

[16] Dirik, Deniz, İnan Eryılmaz, Ve Tuğba Erhan. "Post-Truth Kavramı Üzerine Yapılan Çalışmaların Vosviewer Ile Bibliyometrik Analizi." Sosyal Mucit Academic Review 4.2 (2023): 164-188. Doi:10.54733/Smar.1271369.

Türkoğlu, Musa, Gülhan Duran, Ve Serdar Yetişen. "Türkiye'de E-Ticaret Üzerine Yapilmiş Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi." Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 12.1 (Yıl: 12, Sayı: 1): Jduiss

YEŞİL ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ İÇİN GENETİK ALGORİTMA UYGULAMASI

Dr.Onur Mesut ŞENARAS
Bursa Uludağ Üniversitesi
osenaras@gmail.com- https://orcid.org/0000-0002-4295-801X

Doç.Dr.Şahin İNANÇ
Bursa Uludağ Üniversitesi
sahininanc@uludag.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-0603-1604

Prof.Dr.Arzu EREN ŞENARAS
Bursa Uludağ Üniversitesi
arzueren@uludag.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-3862-4551

ÖZET

Bu çalışma, lojistik operasyonlarda enerji tüketimini ve çevresel etkileri azaltmayı amaçlayan Yeşil Araç Rotalama Probleminin (Green Vehicle Routing Problem – GVRP) genetik algoritma yöntemiyle çözümünü ele almaktadır. Artan yakıt maliyetleri ve karbon emisyonu baskısı altında, dağıtım ağlarında enerji verimliliğini artıracak rota planlama yaklaşımları kritik önem taşımaktadır. Bu kapsamda geliştirilen GA tabanlı model, araç kapasitesi, müşteri talebi, yol mesafesi ve yük değişimine bağlı enerji tüketimi gibi çok boyutlu parametreleri dikkate almaktadır. Başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulmuş olup, çözümler seçilim, çaprazlama ve mutasyon operatörleriyle iyileştirilmiştir. Enerji maliyetine dayalı bir fitness fonksiyonu kullanılarak, toplam tüketimi en aza indiren rota yapıları belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, genetik algoritmanın klasik en kısa yol yaklaşımlarına kıyasla daha düşük enerji tüketimi sağlayarak sürdürülebilir lojistik planlamasına katkı sunduğunu göstermektedir. Çalışma, çevreci dağıtım sistemleri için esnek, ölçeklenebilir ve hesaplama açısından uygulanabilir bir optimizasyon çerçevesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Araç Rotalama Problemi, Genetik Algoritma, Pyhton Programlama

1. GİRİŞ

Yeşil Araç Rotalam Problemi (GVRP), klasik araç rotalama problemini çevresel etkileri göz önüne alarak sürdürülebilirlik boyutunu içerecek şekilde genişleten bir optimizasyon metodudur. Bu yaklaşımda toplam mesafe veya maliyet minimizasyonunun yanı sıra yakıt

tüketimi, karbon emisyonu, enerji kullanımı kısıtlara ve amaç fonksiyonuna eklenmiştir. (Bektaş & Laporte, 2011).

Ulaştırma faaliyetlerinde küresel gaz emisyonun aldığı pay düşünüldüğünde bu alanın önemi daha iyi anlaşılmaktadır (Demir, Bektaş ve Laporte, 2014). Literatürde alternatif yakıtlı araçların menzil kısıtlarını dikkate alan modeller (Erdoğan & Miller-Hooks, 2012), eğim, hız ve yük faktörlerine bağlı gerçekçi enerji tüketim fonksiyonlarını kullanan yaklaşımlar ve çok amaçlı optimizasyon modelleri yaygın olarak incelenmektedir. Bu çalışmalar, yeşil araç rotasının hem çevresel açıdan hem de operasyonel verimlilik açısından da önemli kazanımlar sağlayabileceğini gösterir (Kwon, Choi ve Lee, 2013).

2. LİTERATÜRE KISA BAKIŞ

Bruglieri v.d. (2016), alternatif yakıt istasyonlarında (AFS) azalmayı araştırmak için yeni bir formülasyon içeren daha gerçekçi bir GVRP modeli sundu. Hesaplama sürecinde daha iyi performans için, her müşteri çifti arasına herhangi bir durak eklemenin maliyeti önceden ölçüldü ve modelleri AFS'nin ön hesaplamasını içeriyordu. Leggieri ve Haouari (2017), değişken ve kısıtlama sayısını azaltmak için ön işleme hesaplamasının yapıldığı bir yeniden formülasyon-doğrusallaştırma tekniği kullanarak GVRP'nin doğrusal olmayan formülasyon tüketim kısıtlamalarını sundu. Montoya ve ark. (2016), VRP modelinde AFV'lerin önemini belirtti ve GVRP modelini yöneten iki aşamalı bir sezgisel yöntem içeren oldukça basit bir prosedür sundu; burada ilk aşama, rota önce küme-ikinciye dayalı klasik sezgisel yöntemle bir dizi rota oluşturmak için gerçekleştirilirken, 2. aşama havuzdaki en iyi çözüme ulaşmak için bir küme bölme formülasyon yöntemini içeriyordu. Indrianti v.d. (2025), bu çalışmalarında, zaman aralıkları, eş zamanlı teslim alma ve teslimat, heterojen araç filoları ve çoklu sefer tahsisleri gibi temel lojistik zorluklarını ele almak için Yeşil Araç Rotalama Problemi (GVRP) modelini geliştirmektedir. Model, sürdürülebilir tedarik zinciri operasyonlarını teşvik etmek için karbon vergileri gibi emisyonla ilgili maliyetleri içermektedir. Emisyonlar, toplam sevkiyat ağırlığına ve her aracın kat ettiği mesafeye göre hesaplanır. Amaç, ekonomik verimlilik ve çevresel sürdürülebilirliği dengeleyerek operasyonel maliyetleri en aza indirmektir.

3. GENETİK ALGORİTMA

Evrimsel hesaplamalarının bir alt türü olan genetik algoritmalar, Rechenberg'in "Evrim Stratejileri (Evolution Strategies)" adlı çalışmasıyla 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. En iyi-uygun olanın hayatta kalması düşüncesi ile problemlere uygulanmaya çalışılmıştır. 1967 de Bagley çalışmasında "Genetik Algoritmalar" terimi kullanmış bunu J. Holland'ın "Doğal ve

Yapay Sistemlerde Uyum (Adaptation in Natural and Artificial Systems)“ adlı kitabında GA'ın teorik esasları belitmiştir. (Holland 1975). Holland 'ın Michigan Üniversitesinden öğrencisi olan D.E.Goldberg, gaz borularındaki gaz akışını düzenlemek için bu yöntemi kullanarak G.A uygulanabilirliğin göstermiştir (Goldberg 1983). Goldberg yazdığı Makine Öğrenmesi Arama ve Optimizasyon için Genetik Algoritma adlı kitabı ile GA popülerliğini arttırmıştır. Günümüzde birçok zorlu probleme bu yöntem ile oldukça başarılı çözümler geliştirilmiştir.

4.UYGULAMA

4.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada, merkezi bir depodan müşterilere yönelik araçların kapasite sınırı altında araç rotalama problem ele alınmıştır. Problemde farklı mesafelerde bulunan 10 müşterinin, sınırlı kapasitelere sahip bir araç filosu ile depodan araçların çıkıp tekrar depoya dönecek şekilde (Gezgin Satıcı Problemi) müşterilerin ziyaret edilmesi amaçlanmıştır.

Müşteri talepleri rasgele belirlenmiş olup araç kapasiteleri de 100 birim ile sınırlandırılmıştır. Araç filosu en fazla 4 araçtan oluşmaktadır. Problemde amaç fonksiyonu klasik problemlerdekinden farklı olarak sadece mesafe minimizasyonu değil aynı zamanda araç yüküne bağlı olarak enerji tüketimi de dikkate alınmıştır. Burada enerji tüketimi kat edilen mesafe ile yükün doğrusal olarak artmasına göre hesaplanmıştır.

Problemin çözümünde sezgisel algoritmalardan biri olan Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır. Kromozom yapısı müşterileri ziyaret edip depoya dönecek şekilde tasarlanmıştır. Araç kapasitelerinin aşılması durumunda yeni rotalar oluşturulmaktadır. Benzer şekilde araç sayısı sınırının aşılası durumunda yüksek ceza eklenerek çözüm uzayı problem kısıtları içinde kalacak şekilde daraltılmıştır.

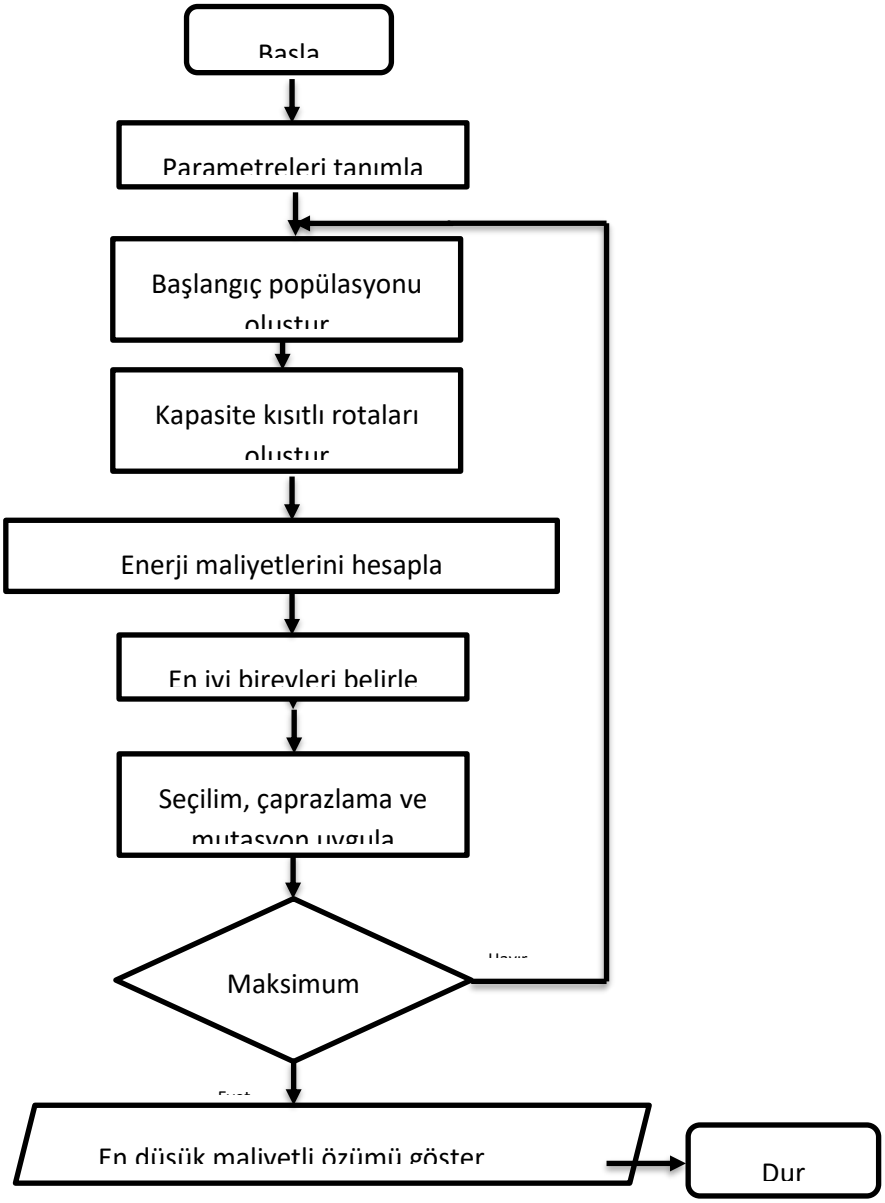
4.2.Algoritma

1. Başla
2. Müşteri, depo ve araç parametrelerini tanımla
3. Başlangıç popülasyonunu rastgele oluştur
4. Her birey için kapasite kısıtlı rotaları oluştur
5. Enerji maliyetini hesapla

6. En iyi bireyleri belirle
7. Seçilim, çaprazlama ve mutasyon uygula
8. Nesiller boyunca işlemi tekrarla
9. En düşük enerjili çözümü raporla
10. Dur

4.3.Akış Çizgesi

Akış çizgesi Görsel 1'deki gibidir.



Görsel 1. Akış Çizgesi

4.4.Bulgular

Uygulanan algoritma sonucunda; tüm müşteri talepleri araç kapasitesi kısıtları altında karşılanmıştır, toplamda 2 araç kullanılarak geçerli rotalar oluşturulmuştur. En iyi çözüm için hesaplanan toplam enerji maliyeti 387 olarak bulunmuştur.

En iyi enerji maliyeti: 387.00
Rota 1: 0 → 10 → 9 → 1 → 6 → 4 → 8 → 2 → 0 | Toplam yük = 90
Rota 2: 0 → 7 → 5 → 3 → 0 | Toplam yük = 74
Tahmini Toplam Enerji Maliyeti: 387.00

Enerji maliyetinin, özellikle yüksek yüklü ve uzun mesafeli rotalarda arttığı gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, enerji tüketimini dikkate alan kapasiteli araç rotalama problemi ele alınmıştır. Müşteri taleplerinin ve araç yükünün enerji maliyetine etkisi modellenmiş, çözüm için Genetik Algoritma (GA) yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen yaklaşım, depo merkezli çoklu araç kullanımı altında toplam enerji maliyetini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Sayısal sonuçlar, önerilen yöntemin etkin ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, genetik algoritmaların enerji odaklı lojistik ve dağıtım problemlerinde güçlü ve esnek bir optimizasyon aracı olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada enerji tabanlı araç rotalama problemi başarıyla modellenmiş ve çözülmüştür. Gelecek çalışmalarda; zaman pencereleri, farklı araç tipleri, gerçek trafik verileri modele entegre edilerek daha kapsamlı analizler yapılabilir.

KAYNAKÇA

1. Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. Transportation Research Part B: Methodological, 45(8), 1232–1250. https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.02.004
2. Bruglieri,M., Pezzella, F., Pisacane, O., Suraci, S., (2015). A variable neighborhood search branching for the electric vehicle routing problem with time windows, Electron.NotesDiscreteMath.47,221e228.

3. Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2014). A review of recent research on green road freight transportation. European Journal of Operational Research, 237(3), 775–793. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.033
4. Erdogan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A green vehicle routing problem. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48(1), 100–114. https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.08.001
5. Goldberg D. E. (1983), Computer-Aided Gas Pipeline Operation Using Genetic Algorithms and Rule Learning, PhD Thesis, The University of Michigan,.
6. Holland J.H., (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems, MIT Press.
7. Indrianti, N., Leuveano, R. A. C., Abdul-Rashid, S. H., & Ridho, M. I. (2025). Green Vehicle Routing Problem Optimization for LPG Distribution: Genetic Algorithms for Complex Constraints and Emission Reduction. Sustainability, 17(3), 1144.
8. Kwon, Y. J., Choi, Y. J., & Lee, D. H. (2013). Heterogeneous fixed fleet vehicle routing considering carbon emission. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 23, 81–89. https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.04.008
9. Leggieri, V., Haouari, M., (2017). A practical solution approach for the green vehicle routing problem. Transport. Res. E Logist. Transport. Rev. 104, 97e112.
10. Montoya, A., Gueret, C., Mendoza, J.E., Villegas, J.G., (2016). A multi-space sampling heuristic for the green vehicle routing problem. Transport. Res. C Emerg. Technol. 70, 113e128.

ZOONOZLAR ve İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Araş.Gör.Dr. Seda GÖKDEMİR
Kafkas Üniversitesi/Veteriner Fakültesi
seda.durhan@kafkas.edu.tr ORCID ID:0000-0002-6040-6569

Doç.Dr. Aliye GÜLMEZ SAĞLAM
Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi
aliye.saglam@kafkas.edu.tr ORCID: 0000-0002-7639-5075

Dr. Öğr. Üyesi Elif ÇELİK
Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi
elif.celik@kafkas.edu.tr ORCID: 0000-0003-4531-3863

ÖZET

İnsanların büyük bir bölümü yaşamlarının belirli dönemlerinde hayvanlarla temas halindedir. Omurgalı hayvanlardan insanlara veya insanlardan omurgalı hayvanlara doğal olarak bulaşabilen birçok hastalık bulunmaktadır. Bu hayvanlar ile insanlar arasında çeşitli patojenlerin bulaşmasına da zoonotik hastalık denilmektedir. İnsanlarda görülen hastalıkların %60'dan fazlası omurgalı hayvanlardan ve bunlarında %70'inden fazlası yaban hayvanlarından kaynaklanmaktadır. Yabani hayvanlarda, patojenlerin bulaşıcılığı bakımından belirleyici bir rol oynamaktadır. Farklı türde hayvanların evcilleştirilmesiyle birlikte insanların hayvanlarla doğrudan temas alanları genişlemiştir. Hayvanlardan insanlara birçok patojen bulaşabilmektedir. Bir patojenin de popülasyon açısından tehdit oluşturabilmesi için öncelikle hayvan ile insan arasında temasının gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu temasın arka planında ise iklim değişikliğine bağlı çevresel dönüşümler, hayvanların göç yollarındaki değişiklikler, su kaynaklarının azalması veya kirlenmesi ve kentleşmenin artması gibi çok sayıda neden bulunmaktadır. Dünyamızın iklimi, son birkaç yüz yıldır ciddi bir şekilde yeniden şekillenmeye başlamıştır. Artan sıcaklıklar, değişen hava olayları ve ekosistem bozuklukları, vektörlerin yaşam döngülerini ve patojenlerin çevresel direncini etkilemektedir. Bu çalışmada, patojenlerin çevresel koşullara duyarlılıkları çerçevesinde yeni bulaşıcı hastalıkların ve zoonozların ortaya çıkmasında etkili olan faktörler ele alınmıştır. Özellikle insan-hayvan etkileşiminin artışı, iklim değişikliğinin zoonotik hastalıkların yayılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda da iklim değişikliği ile ilişkisi olan bazı zoonoz hastalıklara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zoonoz, Zoonotik Hastalıklar, İklim değişikliği, Halk Sağlığı

ZOONOSES AND CLIMATE CHANGE

SUMMARY

A significant proportion of the population will have contact with animals at some point in their lives. It is evident that a multitude of diseases have the capacity to disseminate from vertebrate animals to humans, or vice versa. The transmission of various pathogens between these animals and humans is also referred to as zoonotic disease. It is estimated that over 60% of human diseases are of vertebrate origin, with over 70% of these being derived from wild animals. The role of wild animals in the transmissibility of pathogens is a decisive factor in this regard. The domestication of various animal species has resulted in an expansion of the areas in which humans have direct contact with animals. A considerable number of pathogens have the capacity to be transmitted from animals to humans. For a pathogen to pose a threat to the population, it is first necessary for contact to occur between animals and humans. The underlying factors contributing to this phenomenon are multifaceted, including but not limited to: environmental changes associated with climate change, alterations in animal migration patterns, the depletion or contamination of water resources, and the escalating trend of urbanisation. The climate of our world has undergone significant modification over the past few centuries. Rising temperatures, changing weather patterns, and ecosystem disturbances are affecting the life cycles of vectors and the environmental resistance of pathogens. The present study examines the factors contributing to the emergence of new infectious diseases and zoonoses within the framework of pathogens' sensitivity to environmental conditions. In particular, the increase in human-animal interaction and the effects of climate change on the spread of zoonotic diseases are examined. In this context, zoonotic diseases related to climate change are also discussed.

Keywords: Zoonoses, Diseases, Climate Change, Public Health.

1. GİRİŞ

İnsan ve hayvan arasındaki etkileşim, tarih boyunca farklı şekillerde devam etmiştir. İnsanlar, bilinçli veya bilinçsiz olarak hayvanlarla temasta bulunarak, hayvanlardan ulaşım ve yük taşımada yararlanmış, avlanan ve evcilleştirilen hayvanların et ve sütleri tüketmiş, aynı zamanda hayvansal kökenli deri ve diğer ürünleri giysi gibi çeşitli materyaller olarak kullanılmıştır. Bu etkileşimler sonucunda ise hayvanlardan kaynaklanabilecek hastalık etkenleriyle temas kaçınılmaz hale gelmiştir. Günümüzde de insan-hayvan yaşamının daha fazla iç içe geçmesiyle bu ilişkileri tanımlamak için yeni terimler literatüre girmiştir (Öztoprak ve ark. 2015). Zoonotik hastalıklar, 1951 yılında 'Expert Committee on Zoonoses' tarafından omurgalı hayvanlar ile insanlar arasında doğal yollarla bulaşan hastalıklar ve enfeksiyonlar olarak tanımlanmıştır (Filho ve ark. 2022). Zoonoz terimi ilk olarak Alman hekim ve patolog Rudolf Virchow tarafından, 19. yüzyılın sonlarında hayvan ve insanda ortak olarak görülen hastalıkları tanımlamak amacıyla kullanılmıştır (Filho ve ark. 2022, Yardımcı, 2024). Zoonoz teriminin kökeni Yunancaya dayanmakta olup, 'zoon' hayvan ve 'noses' hastalık anlamına gelmektedir (Borham ve ark. 2025). Zoonoz terimi literatürde daha genel bir başlıkta kullanılırken, zooantroponoz ise bulaşmanın insanlardan hayvanlara doğru gerçekleştiği enfeksiyonları ifade etmek için kullanılmaktadır (Messenger ve ark 2014). Zoonoz hastalık etkenlerini bakteriler, parazitler, mantarlar ve virüsler oluşturmaktadır (Işık ve ark. 2024).

Dünya çapında son yıllarda ortaya çıkan bulaşıcı hastalıkların yaklaşık %75'inin hayvansal kökenli olduğu bilinmektedir ve her yıl yeni zoonotik hastalıklar tanımlanmaktadır. Sosyoekonomik ve iklim değişiklikleri bu hastalıkların ortaya çıkışında etkili olmaktadır. Ayrıca bilinen zoonoz etkenlerin kontrolü de güçleşirken, diğer yandan bu faktörler yeni zoonotik enfeksiyonlarında gelişmesi için uygun koşullar oluşturmaktadır (Açıkgöz ve Göl 2023). Avrupa Birliği'nde 2017 yılı verilerine göre yaklaşık 356 bin zoonotik vaka bildirilmiş olup, bu vakaların 484'ü ölümle sonuçlanmıştır. Türkiye'de ise 2018 yılı itibariyle toplam 107 farklı zoonotik hastalık rapor edilmiştir. Bunların 37'sinin bakteriyel, 13'ü fungal, 29'u viral ve 28'i paraziter kökenli olduğu belirtilmiştir. Ülkemiz, sahip olduğu coğrafi özellikler, farklı ülkelerden gerçekleşen göç hareketleri ve ekosistem yapısına bağlı olarak hayvan popülasyonlarının hareketliliği gibi etkenler nedeniyle yeni ve yeniden ortaya çıkan zoonotik hastalıklar bakımından riskli bir konumdadır (Işık ve ark. 2024).

İklim değişikliği, sıcaklık artışı, yağış rejimlerindeki değişimler ve biyolojik çeşitliliğin azalması nedeniyle patojen ile vektör arasındaki etkileşimleri yeniden şekillendirmekte, ayrıca artropod kaynaklı ve suyla bulaşan zoonotik hastalıkların görülme sıklığını artırmaktadır. Bu durum özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde sağlık sistemi üzerindeki yükü artırarak, hem insan hem de hayvan sağlığı açısından önemli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır (Işık ve ark. 2024). Avrupa ülkelerinde en sık bildirilen zoonotik hastalıklar arasında ilk sıralarda *Campylobacter, Salmonella* ve *Yersinia* enfeksiyonları yer almaktadır. Bu enfeksiyonları *Escherichia coli, Coxiella, Listeria, Echinococcus granulosus, Brusella, Mycobacterium bovis* ve *Lyssavirus* izlemektedir. Türkiye'de zoonozların görülme sıklığına ilişkin kesin bir sıralama bulunmamakla birlikte, en yaygın olarak bildirilen zoonotik hastalıklar arasında brusellozis, şarbon, toksoplazmozis, listeriyozis, giardiyazis, kuduz ve Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi yer almaktadır. *Salmonella* enfeksiyonları ve dermatofitozlar hem insanlarda hem de hayvanlarda

sık görülürken, influenza virüsleri büyük ölçekli salgınlara ve pandemilere yol açabilmektedir (Öztoprak ve ark. 2015).

1. İklim Değişikliği ve Zoonozlar Arasındaki İlişki

İklim değişikliği, ekosistemde yarattığı farklılıklar aracılığıyla patojenlerin bulaşma yollarını değiştirerek salgınların ortaya çıkma riskini artırmaktadır. Özellikle sıcaklık artışına bağlı ekolojik değişiklikler, patojenlerin konak ve vektörler ile etkileşimlerinde yeni adaptasyonlara yol açarak bulaşıcılığın daha etkili ve hızlı olmasına neden olmaktadır (Muz ve Muz 2022). Bulaşıcı hastalıkların epidemiyolojisi, çevresel değişimlere ve konak, rezervuar, vektör ve patojenlerin doğası gereği sahip oldukları etkileşimlerin değişmesine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Bartlow ve ark. 2019). Olağanüstü hava olayları, ani mevsim ve iklim değişikliği, vektörlerin fizyolojik süreçlerini, üreme biyolojilerini etkileyerek patojenlerin bulaşıcılık ve yayılım özelliklerini değiştirmektedir (Taştan 2022). İklim değişikliği, zoonotik hastalıkların ortaya çıkışını ve yayılımını birçok farklı yolla etkilemektedir. Bunlardan bazıları:

1.1. Sıcaklık artışına bağlı etkiler:

İklim değişiklikleri sonucu meydana gelen sıcaklık artışı, vektörlerin ve vektör kaynaklı patojenlerin dağılımını ve hayatta kalma oranlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Ilıman bölgelerde sıcaklık yükseldikçe, bu türler için uygun habitatlar genişleyerek kutuplara doğru yayılmaları kolaylaşmaktadır. Tropikal bölgelerde ise vektörlerin fazlalığı ve patojen yoğunluğu artmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği, hayvan, konakçı ve vektör etkileşimlerini değiştirerek yeni patojen genotiplerinin ortaya çıkmasına ve yerleşmesine olanak sağlamaktadır (Ogden ve Lindsay 2016, Rocklöv ve Dubrow 2020). Ayrıca iklim değişikliği kaynaklı çevresel stres faktörleri, yaban ve evcil hayvanlarda bağışıklık direncini zayıflatarak zoonotik ajanların yayılma potansiyelini artırmaktadır (Altizer ve ark. 2013).

1.2. Yağış rejimi ve neme bağlı etkiler:

İklim değişikliğine bağlı olarak artan yağışlar, sel baskınları ve deniz taşkınları gibi beklenmedik çevresel olaylar enfeksiyonların yayılımını birçok farklı yolla kolaylaştırmaktadır (Taştan 2018). Nem düzeyi özellikle vektörlerin biyolojisi üzerine belirleyici bir etkiye sahip olup, vektör kaynaklı hastalıkların yayılımında doğrudan rol almaktadır. Düşük nem koşullarında sivrisinek ve kene gibi vektörlerin hayatta kalma süreleri kısalmakta ve dehidrasyona bağlı olarak yaşamlarını sürdürme olasılıkları azalmakta, bu durumda patojenlerin vektörler aracılığıyla bulaşma olasılığını azaltmaktadır (Odgen ve Lindsay 2016, Gajera ve Pradhan 2024).

1.3. Ekosistem ve habitat değişikliklerine bağlı etkiler:

Kentleşme, tarımsal faaliyetler ve arazi kullanımındaki değişiklikler gibi antropojenik süreçler, habitatların yapısını ve işlevini etkileyerek ekosistem dengelerini bozmakta ve yeni patojenlerin ortaya çıkışını ve yayılımını kolaylaştırmaktadır. Habitat değişimine bağlı ekolojik faktörler, patojenlerin yeni bölgelere girişini, yerleşmesini ve bulaşma yeteneğinin güçlenmesini sağlamaktadır. Küreselleşmeyle artan ticaret, seyahat ve hayvan hareketliliği, patojenlerin doğal sınırlarını genişleterek, yeni coğrafi alanlara yayılmasına zemin hazırlamaktadır. Ayrıca ormansızlaşma ve benzeri arazi alanı kullanımındaki değişiklikler, patojenlerin taşıyıcısı olan vektörlerin ve vektör görevi gören hayvanların biyolojisini dolaylı

veya doğrudan etkileyerek zoonotik hastalıkların ekosistemdeki dinamiklerini değiştirmektedir. Ormansızlaşma sonucu küçülen habitatlar doğada karşılaşması mümkün olmayan türlerin bir araya gelmesini ve bu canlılar arasında patojen transferine neden olabilmektedir (Tolunay 2020, Taştan 2022).

2. İklim Değişikliği ile İlişkili Önemli Zoonotik Hastalıklar

İklim değişikliği zoonotik hastalıkların ortaya çıkışı ve yeniden yayılımı ile yakından ilişkili olmakla birlikte salgınlar, sel olayları ve ticari faaliyetlerdeki aksamalar yoluyla küresel olarak önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu hastalıklar, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sağlık sistemine yük olmakta ve imkanların sınırlı olduğu koşullarda sosyal ve ekonomik sonuçlar meydana getirmektedir (Shafique ve ark. 2024).

2.1. Leptospiroz:

Leptospiroz, *Leptospira* cinsi bakterilerin neden olduğu ve enfekte olmuş hayvanların idrarıyla kirlenmiş su ve toprak ile temas yoluyla bulaşabilen zoonotik bir hastalıktır. Dünya genelinde sel ve aşırı yağış olayları leptospiroz salgınlarıyla ilişkilendirilmiştir (Levett 2001). Yabani hayvanlar, sığırlar, atlar, domuzlar ve kemirgenler bu bakteriyi taşıyabilmektedir. Özellikle sel sonrası meydana gelen kirli suya temas, salgınların ortaya çıkmasında başlıca risk faktörlerindendir. İklim değişikliğinin leptospiroz insidansı ve salgın sıklığı üzerindeki etkisi, çevresel faktörler ve sosyoekonomik koşulların bir araya gelmesiyle şekillenmektedir (Lau ve ark. 2010, Kerman ve Kiraz 2021).

2.2. Şarbon:

Evcil hayvanlar tarafından bulaştırılan etkenlerden biri olan *Bacillus anthracis*'in neden olduğu şarbon, önemli bir halk sağlığı riski taşımaktadır. *B. anthracis*, spor üretebilme yeteğine sahip ve toprak kaynaklı bir bakteri olması nedeniyle çevrede çok uzun süre hayatta kalabilmektedir. Şarbon, enfekte hayvanlar ve ürünleriyle yakın temas yoluyla insanlara bulaşmaktadır. Dünya çapında her yıl ortalama 2.000-20.000 insan şarbondan etkilenmektedir (Rahman ve ark. 2020). Şarbon nedeniyle ölen hayvan karkaslarının uygun şekilde imha edilmemesi, iklim değişikliği sonucu aşırı yağışlar ve sel olaylarıyla birleştiğinde, *B. anthracis* sporlarının çevreye ve su kaynaklarına yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca aşırı kuraklık sonrası sporların toprakta birikimini artırarak kontamine otlaklar aracılığıyla hayvanlar arasında bulaş riskini önemli miktarda yükseltmektedir (Islam ve ark. 2024).

2.3. Q Ateşi:

Q humması, dirençli bir hücre içi bakteri olan *Coxiella burnetii*'nin neden olduğu yaygın bir zoonozdur (Porter ve ark. 2011). *C. burnetii*'nin başlıca rezervuarı sığır, koyun ve keçiler olup, bakteri enfekte hayvanların idrar, dışkı, süt ve doğum materyallerinde bulunabilmektedir. *C. burnetii* ile enfekte havanın solunmasıyla hayvan rezervuarlarından insanlara bulaşabilir. Özellikle sıcaklık ve kuralık artışı ile bakterinin kontamine toprak veya hayvansal artıklar üzerinden rüzgarla taşınmasına neden olmaktadır (Tissot-Dupont ve ark. 2004). Artan kuraklık, toprak neminin azalmasına ve bitki örtüsünün seyrelmesine ve çevresel yayılımın kolaylaşmasına zemin hazırlamaktadır. Bu durum, bakterinin tutunmasını sınırlamaz aksine toz oluşumunu artırarak enfeksiyonun çevresel yayılım riskini yükseltmektedir. Kuru ve tozlu ortamlar, enfekte hayvanların bulunduğu alanlardan, bakteriyel aerosollerin rüzgar yoluyla

kilometrelerce taşınmasına olanak tanıyarak geniş ölçekli insan salgınlarına zemin hazırlamaktadır. (Van der Hoek ve ark. 2011, Van Leuken ve ark. 2016).

3. Tek Sağlık ve Zoonozlarla Mücadele

Tek Sağlık yaklaşımı, insan, hayvan ve çevre sağlığının birbiriyle bağlantılı olduğunu benimseyen bütüncül bir yaklaşımdır. İklim değişikliğine bağlı zoonoz hastalık risklerinin azaltılmasında Tek Sağlık prensibi büyük önem taşımaktadır. Veteriner hekimler, tıp doktorları ve çevre bilimciler arasında iş birliği sağlanmalı, etkili kontrol programlarının oluşturulması gerekmektedir.

SONUÇ

İklim değişikliği, infeksiyöz ve zoonotik hastalıkların ortaya çıkışını, yayılımını ve yayılma hızını önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Çevresel değişimler, hayvan, vektör ve patojen arasındaki etkileşimleri değiştirerek özellikle vektör kaynaklı zoonozların coğrafi dağılımını ve hastalık yükünü artırmaktadır. İnsan, hayvan ve çevre üçlüsünün birbirine olan bağlılığı göz önünde bulundurulduğunda, iklim değişikliğine karşı önlem alınmaması gelecekte daha büyük salgın risklerini beraberinde getirecektir. Bu nedenle, iklim ve epidemiyolojik verilerin bütünleştirilmesi, erken uyarı sistemlerinin güçlendirilmesi ve hayvan aşılama, hareketlilik yönetimi gibi önleyici stratejilerin uygulanması kritik öneme sahiptir. Ayrıca sınırlı kaynakların etkili kullanılması ve disiplinler arası yaklaşımlarla sürdürebilir halk sağlığı politikalarının geliştirilmesi, küresel ölçekte zoonoz hastalık riskinin azaltılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Açıkgöz, S. ve Göl, İ., Halk Sağlığı Hemşireliği Perspektifinden Zoonozlarla Bulaşan Hastalıklar, *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 32(2), 146-155, 2023.
2. Altizer, S., Ostfeld, R. S., Johnson, P. T., Kutz, S. ve Harvell, C. D., Climate Change and İnfectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework, *Science*, 341(6145), 514–519, 2013.
3. Bartlow, A. W., Manore, C., Xu, C., Kaufeld, K. A., Del Valle, S., Ziemann, A., Fairchild, G. ve Fair, J. M., Forecasting Zoonotic Infectious Disease Response to Climate Change: Mosquito Vectors and a Changing Environment, *Vet Sci*, 6(2), 40, 2019.
4. Borham, A., Abdel Motaal, K., ElSersawy, N., Ahmed, Y. F., Mahmoud, S., Musaibah, A. S. ve Abdelnaser, A., Climate Change and Zoonotic Disease Outbreaks: Emerging Evidence from Epidemiology and Toxicology, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(6), 883, 2025.
5. Gajera, S. J. ve Pradhan, K. A., Intervention of Climate Change on Zoonotic, İnfectious and Vector Borne Disease: Concept and Evidence Review, *International Journal of Biology Sciences*, 6(2), 42-51, 2024.
6. Islam, S. S., Sarker, M. S., Akhter, A. T., Shanta, I. S., Rahman, A. A. ve Sufian, M. A., Animal, Human, and Environmental Perspectives on Anthrax in Bangladesh, *Heliyon*, 10(1), 2024.
7. Işık, Ö. G. Y., Babacan, O. ve Taş, T., Tek Sağlık Bakışıyla, Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Tarım ve Hayvancılığa Etkisi, 2024.
8. Kerman, B. ve Kiraz, E. D. E., İklim Değişikliği ve Vektörler, I. Uluslararası Sağlık ve İklim Değişikliği Kongresi, 82-87, 2021.
9. Lau, C. L., Smythe, L. D., Craig, S. B. ve Weinstein, P., Climate Change, Flooding, Urbanisation and Leptospirosis: Fuelling the Fire?, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 104(10), 631–638, 2010.
10. Leal Filho, W., Ternova, L., Parasnis, S. A., Kovaleva, M. ve Nagy, G. J., Climate Change and Zoonoses: A Review of Concepts, Definitions, and Bibliometrics, *Int J Environ Res Public Health*, 19(2), 893, 2022.
11. Levett, P. N., Leptospirosis, *Clinical Microbiology Reviews*, 14(2), 296-326, 2001.
12. Messenger, A. M., Barnes, A. N. ve Gray, G. C., Reverse Zoonotic Disease Transmission (zooanthroponosis): a Systematic Review of Seldom-Documented Human Biological Threats to Animals, *PloS One*, 9(2), e89055, 2014.

13. Muz, D. ve Muz, M. N., İklimsel Değişiklikler ve Zoonoz Hastalıklar, *Disiplinlerarası Tıp ve Sağlık Bilimleri Kavramlar, Araştırmalar ve Uygulama*, Livre de Lyon, 373-395, 2022.

14. Ogden, N. H. ve Lindsay, L. R., Effects of Climate and Climate Change on Vectors and Vector-Borne Diseases: Ticks are Different, *Trends in Parasitology*, 32(8), 646-656, 2016.

15. Öztoprak, D., Serpen, A. ve Aksakoğlu, G., Veteriner Halk Sağlığı'nın Zoonoz Kontrolündeki Yeri, *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 24(3), 114-124, 2015.

16. Porter, S. R., Czaplicki, G., Mainil, J., Guattéo, R. ve Saegerman, C., Q Fever: Current State of Knowledge and Perspectives of Research of a Neglected Zoonosis, *International Journal of Microbiology*, 2011(1), 248418, 2011.

17. Rahman, M. T., Sobur, M. A., Islam, M. S., Ievy, S., Hossain, M. J., El Zowalaty, M. E., Rahman, A. T. ve Ashour, H. M., Zoonotic Diseases: Etiology, Impact, and Control, *Microorganisms*, 8(9), 1405, 2020.

18. Rocklöv, J. ve Dubrow, R., Climate Change: an Enduring Challenge for Vector-Borne Disease Prevention and Control, *Nature Immunology*, 21(5), 479–483, 2020.

19. Shafique, M., Khurshid, M., Muzammil, S., Arshad, M. I., Malik, I. R., Rasool, M. H. ve Aslam, B., Traversed Dynamics of Climate Change and One Health, *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 1-18, 2024.

20. Taştan, R., Tek Sağlık: Küresel İklim Değişikliğini ve Yeni Çıkan Zoonotik Hastalıkları Önlemenin Vazgeçilmez Seçeneği, 1. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, 23-25, 2018.

21. Taştan, R., Küresel iklim krizi ve vektör kaynaklı hastalıklar sorununa tek sağlık yaklaşımı, *İklim ve Sağlık*, Türkiye Klinikleri, Ankara, 12–22, 2022.

22. Tissot-Dupont, H., Amadei, M. A., Nezri, M. ve Raoult, D., Wind in November, Q fever in December, *Emerging Infectious Diseases*, 10(7), 1264–1269, 2004.

23. https://www.iklimhaber.org/salgin-hastaliklar-ekosistem-tahribatlari-ve-iklim-degisikligi-ile-iliskili-mi/ (Erişim tarihi: 21.12.2025)

24. Van der Hoek, W., Hunink, J., Vellema, P. ve Droogers, P., Q fever in The Netherlands: The Role of Local Environmental Conditions, *International Journal of Environmental Health Research*, 21(6), 441-451, 2011.

25. Van Leuken, J. P. G., Swart, A. N., Brandsma, J., Terink, W., Van de Kassteele, J., Droogers, P. ve Van der Hoek, W., Human Q Fever İncidence is Associated to Spatiotemporal Environmental Conditions, *One Health*, 2, 77-87, 2016.

26. Yardımcı, H., Zoonotik Hastalıklar, Bulaşma Yolları ve Halk Sağlığına Etkileri, *Sokak Hayvanları: Toplumsal Sorunlar ve Halk Sağlığı*, Türkiye Bilimler Akademisi, Ankara, 119-130, 2024.